



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL  
ENGINEERING

# TECHNICKO-EKONOMICKÉ MODELY SPALOVEN KOMUNÁLNÍHO ODPADU S VYUŽITÍM ENERGIE

TECHNICAL-ECONOMIC MODELS OF WASTE-TO-ENERGY PLANTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MARTIN ČECH

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MARTIN PAVLAS, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2011/2012

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Martin Čech

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Procesní inženýrství (3909T003)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Technicko-ekonomické modely spaloven komunálního odpadu s využitím energie**

v anglickém jazyce:

### **Technical-economic models of waste-to-energy plants**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se zaměřuje na vytvoření technicko-ekonomického modelu spalovny s využitím energie, který by byl přizpůsobitelný různým technickým parametrům se stěžejními ekonomickými efekty provozu. Pro přípravu modelu bude využit specializovaný software W2E vyvíjený na pracovišti zadavatele. Výsledný model bude sloužit pro rychlý odhad ekonomiky různých provozů a jejich efektivity bez nutnosti vytváření vždy nového modelu dle konkrétního provozu.

Cíle diplomové práce:

- seznámení se s problematikou spaloven komunálního odpadu s využitím energie a jejich ekonomiky.
- vytvoření simulačního modelu typické spalovny.
- analýza parametrů s ohledem na ekonomický efekt
- vytvoření adaptabilního modelu pro hodnocení efektivity stávajících i budoucích zařízení

Seznam odborné literatury:

- [1] MONTGOMERY, Douglas C. Design and analysis of experiments : international student version. 7th ed. Hoboken : John Wiley & Sons, 2009. 656 s. ISBN 978-047-0398-821.
- [2] ENRÍQUEZ A.H.; TANCO M.; and KIM; J.K.: Simulation-Based Process Design and Integration for the Sustainable Retrofit of Chemical Processes, Industrial & Engineering Chemistry Research, 2011, DOI: 10.1021/ie200722z
- [3] ČECH, M. Modely a přístupy v oblasti počítačové simulace procesů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 71 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Michal Touš

Vedoucí diplomové práce: Ing. Martin Pavlas, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 1.12.2011

L.S.

---

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

### **Abstrakt**

- Hlavní podstatou této práce je vytvoření technicko-ekonomického modelu spalovny komunálního odpadu s následným využitím energie. Tento model je možné přizpůsobit vzhledem k rozdílným technickým parametrům různých spaloven a není tedy nutné pro každou různou spalovnu vytvářet model zcela nový. Model zároveň zahrnuje základní ekonomické aspekty technologie a provozu spalovny komunálního odpadu. V práci je též zmíněn význam výstavby spaloven komunálního odpadu, jejich současný stav v České republice a plánovaný výhled.

### **Abstract**

- Main principle of the thesis is to create technical-economic model of municipal waste-to-energy plant. This model is suitable for different technical parameters of various incinerators and there is not necessary to create new model for each new incinerator. The model also includes basic economic aspects of technology and service of the municipal waste incinerator. The importance of municipal waste incinerator construction, their current situation and planned future in Czech Republic are also mentioned in the thesis.

### **Klíčová slova**

- zařízení EVO, technicko-ekonomický model, technologie, investiční náklady

### **Key words**

- WTE unit, technical-economic model, technology, investment costs

### **Bibliografická citace**

ČECH, M. *Technicko-ekonomické modely spaloven komunálního odpadu s využitím energie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 78 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Pavlas, Ph.D..

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci „Technicko-ekonomické modely spaloven komunálního odpadu s využitím energie“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, jenž je součástí této práce.

V Brně dne 25. května 2012

.....

Martin Čech

### **Poděkování**

Děkuji panu Ing. Martinu Pavlasovi, Ph.D. za odborné rady, věnovaný čas a vedení při tvorbě této diplomové práce. Taktéž děkuji Ing. Radovanu Šomplákovi za konzultace a odborné rady při vypracovávání této diplomové práce.

Děkuji.

## **Obsah**

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Odpad a jeho energetické využití.....</b>	<b>12</b>
2.1	Význam EVO.....	12
2.2	Produkce odpadu v ČR a jeho vlastnosti.....	16
2.2.1	<i>Vývoj produkce odpadu v ČR .....</i>	<i>16</i>
2.2.2	<i>Základní vlastnosti odpadu.....</i>	<i>17</i>
2.3	Současná situace v EU .....	18
2.4	Technické řešení termického zpracování odpadu .....	22
2.4.1	<i>Systém spalování .....</i>	<i>23</i>
2.4.2	<i>Systém využití páry.....</i>	<i>24</i>
2.4.3	<i>Systém čištění spalin .....</i>	<i>26</i>
<b>3</b>	<b>Produkce a využívání odpadů v ČR .....</b>	<b>29</b>
3.1	Spalovny SKO v provozu .....	29
3.1.1	<i>Sako Brno .....</i>	<i>29</i>
3.1.2	<i>Zevo Malešice .....</i>	<i>30</i>
3.1.3	<i>Termizo Liberec .....</i>	<i>31</i>
3.2	Plánovaná výstavba nových spaloven SKO .....	32
3.3	Připravované projekty .....	33
3.3.1	<i>KIC Karviná.....</i>	<i>33</i>
3.3.2	<i>ZEVO Chotíkov .....</i>	<i>35</i>
3.3.3	<i>EVO Komořany.....</i>	<i>36</i>
3.3.4	<i>Další připravované projekty .....</i>	<i>37</i>
<b>4</b>	<b>Technicko-ekonomické modely zařízení EVO .....</b>	<b>38</b>
4.1	Poskytnutý komplexní model .....	38
4.2	Parametry modelu .....	41
4.3	Požadovaná struktura modelu .....	42
4.4	Požadavky na funkci modelu .....	44
<b>5</b>	<b>Bilanční výpočet typické technologie .....</b>	<b>46</b>
5.1	Popis zvolené technologie .....	46
5.2	Přístup k modelování bilancí technologie .....	47
5.3	Struktura a popis výpočtu .....	47
5.4	Možné úrovně řešení .....	49



<b>6</b>	<b>Ekonomický model.....</b>	<b>51</b>
6.1	Vlastní ekonomický model.....	51
6.1.1	<i>Základní teorie.....</i>	51
6.1.2	<i>Motivace .....</i>	52
6.1.3	<i>Model odhadu investičních nákladů na technologii EVO .....</i>	53
6.1.4	<i>Ukázka použití modelu .....</i>	59
6.2	Posouzení výhodnosti řešení jednotky EVO v konfiguraci s více linkami .....	64
6.2.1	<i>Model založený na jednotné hodinové kapacitě .....</i>	64
6.2.2	<i>Model založený na konstantní roční zpracovatelské kapacitě.....</i>	68
6.2.3	<i>Vyhodnocení vhodnosti použití .....</i>	70
6.3	IRR jako funkce závislosti ceny na bráně .....	71
<b>7</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>73</b>

### Seznam symbolů

SYMBOL	VÝZNAM	JEDNOTKA
C	Náklady na provoz a údržbu	Kč
Cap	Zpracovatelská kapacita	t/h, kt/rok
i	Úroková míra (= IRR)	%
I	Investiční náklady	Kč
$m_i$	Počet opakování použití provozního souboru v technologii	-
n	Životnost	roky
P	Výkon zařízení	MW
R	Výnos	Kč
$t_{\text{fond}}$	Pracovní fond	h/rok
x	Mocninný koeficient	-
$z_{\text{vzt}}$	Vztažná jednotka	-
$\alpha$	Capital Recovery Factor	-

### Seznam použitých zkratk

ZKRATKA	CELÝ NÁZEV
BRKO	Biologicky rozložitelný komunální odpad
CRF	Capital Recovery Factor
CZT	Centrální zásobování teplem
DZE	Druhotný zdroj energie
EVO	Energetické využití odpadu
HDP	Hrubý domácí produkt
HRSG	Heat Recovery Steam Generator (= kotel na odpadní teplo)
IRR	Internal Rate of Return (= vnitřní výnosové procento)
KO	Komunální odpad
KVET	Kombinovaná výroba energie a tepla
LHV	Lower Heating Value (= výhřevnost)
MBÚ	Mechanicko-biologická úprava
NPV	Net Present Value (= čistá současná hodnota)
OO	Objemný odpad
OZE	Obnovitelný zdroj
PCB	Polychlorované bifenylly
PCDD	Polychlorovaný dibenzodioxin
PCDF	Polychlorovaný dibenzofuran
ROI	Return on Investment (= návratnost investic)
SCR	Selektivní katalytická redukce
SKO	Směsný komunální odpad
SNCR	Selektivní nekatalytická redukce
T-E	Technicko-ekonomický
TEQ	Toxický ekvivalent
TZL	Tuhá znečišťující látka
VBA	Visual Basic for Applications

# 1 Úvod

Odpady a potažmo i odpadové hospodářství provázely lidstvo po celou dobu jeho existence. Avšak až v posledních desetiletích přestal být odpad, díky celosvětovému rozvoji průmyslu a rapidnímu nárůstu počtu obyvatel na Zemi, na okraji společenského i průmyslového zájmu. S rostoucím zájmem o odpadové hospodářství také vyplynula na povrch otázka. Jak odpad zneškodnit, nebo ještě lépe co nejefektivněji využít? Dosavadní trendy skládkování odpadu jsou na ústupu, zatímco do popředí se dostává snaha o využití odpadu jako materiálového a energetického zdroje. Ač jsou v současnosti odpady opětovně využívány i recyklovány, stále z nich zbývá ještě velké množství, které v sobě má energetický potenciál, a které nelze efektivně využít jinak než jeho spalováním. Hlavní výhodou spalovny odpadu je kromě odstranění odpadu i možnost následného využití energie, uvolněné při jeho termickém zpracování.

Česká republika v současnosti disponuje třemi plně funkčními spalovnami komunálního odpadu, jejichž souhrnná zpracovatelská kapacita 620 kt/rok ale zdaleka nepokrývá produkci spalitelného odpadu (např. v roce 2009 bylo energeticky využito pouze 337 kt z celkové produkce 3742 kt spalitelného komunálního odpadu) [1]. Vzhledem k politice odpadového hospodářství Evropské unie se Česká republika do roku 2020 zavázala k odklonění 65 % biologicky rozložitelné složky komunálního odpadu (BRKO) vzniklého v roce 1995 [2]. Za účelem dodržení tohoto nařízení byla vypracována studie, která pojednává o možné výstavbě 11 nových spaloven na území celé republiky [1].

Ač je výstavba spalovny komunálního odpadu částečně dotovaná z fondů Evropské unie, je k její realizaci nutné dominantní financování ze zdrojů investora. Proto je snahou prezentovat projekt výstavby spalovny komunálního odpadu jako ekonomicky atraktivní projekt. Ekonomice spalovny, která je závislá na ceně její výstavby, zpracovatelské kapacitě, cenám za prodej tepla a elektřiny a statním dotacím, by se tedy měly přizpůsobit ceny za odvoz odpadu tak, aby bylo dosaženo požadovaného ročního výnosu.

Ústav procesního a ekologického inženýrství disponuje komplexním technicko-ekonomickým modelem, pomocí kterého lze posoudit, zda modelovaná spalovna bude schopna, na základě hodnot vstupních parametrů, hospodařit takovým způsobem, aby byla ekonomicky zajímavým a udržitelným projektem. Tento komplexní model však ve svých výpočtech nezahrnuje možnou změnu některých parametrů během doby životnosti spalovny, což částečně omezuje jeho použití.

Tato diplomová práce se zabývá vytvořením technicko-ekonomického modelu, který určí ekonomickou výhodnost různých technologických uspořádání pro daný projekt spalovny. Především ale tento model zahrnuje možnou proměnlivost parametrů, kterou již existující komplexní model opomíjí. Proto by se vzniklý model měl později stát součástí modelu komplexního, a tím zpřesnit algoritmus jeho výpočtu.

## 2 Odpad a jeho energetické využití

*Odpad je každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit a přísluší do některé ze skupin odpadů uvedených v příloze č. 1 k zákonu o odpadech (č. 185/2001 Sb.) [3]. Skupiny odpadů, které jsou součástí přílohy výše uvedeného zákona jsou vyjmenovány v tab. 1.*

Kód	Skupina odpadů
Q1	Zůstatky z výroby a spotřeby dále jinak nespecifikované
Q2	Výrobky, které neodpovídají požadované jakosti
Q3	Výrobky s prošlou lhůtou spotřeby
Q4	Použité, ztracené nebo jinou náhodou událostí znehodnocené výrobky včetně všech materiálů, součástí zařízení apod., které byly v důsledku nehody kontaminovány
Q5	Materiály kontaminované nebo znečištěné běžnou činností (např. zůstatky z čištění, obalové materiály, nádoby atd.)
Q6	Nepoužitelné součásti (např. použité baterie, katalyzátory apod.)
Q7	Látky, které ztratily požadované vlastnosti (např. znečištěné kyseliny, rozpouštědla, kalící soli apod.)
Q8	Zůstatky z průmyslových procesů (např. strusky, destilační zbytky apod.)
Q9	Zůstatky z procesů snižujících znečištění (např. kaly z praček plynů, prach z filtrů, vyřazené filtry apod.)
Q10	Zůstatky ze strojního obrábění a povrchové úpravy materiálu (např. třísky z obrábění a frézování, okraje apod.)
Q11	Zůstatky z dopravy a úpravy surovin (např. z dolování, dopravy ropy apod.)
Q12	Znečištěné materiály (např. oleje znečištěné PCB apod.)
Q13	Jakékoliv materiály, látky či výrobky, jejichž užívání bylo zakázáno zákonem
Q14	Výrobky, které vlastník nepoužívá nebo nebude více používat (např. v zemědělství, v domácnosti, úřadech, prodejnách, dílnách apod.)
Q15	Znečištěné materiály, látky nebo výrobky, které vznikly při sanaci půdy
Q16	Jiné materiály, látky nebo výrobky, které nepatří do výše uvedených skupin

Tab. 1 - Příloha č. 1 k zákonu č. 185/2001 Sb. [3]

### 2.1 Význam EVO

Energetické využití odpadu (EVO) je v současnosti stále častěji diskutovanější téma a je tomu tak hned z několika důvodů:

- směrnice Evropské rady 1999/31/ES
- odpad je málo využívaným zdrojem energie a má potenciál ušetřit suroviny v teplárenství
- rámcová směrnice o odpadech 2006/12/ES.

Směrnice Evropské rady 199/31/ES, známá jinak též jako Landfill Directive zavazuje státy k odklání odpadu od skládkování. Konkrétně pro Českou republiku platí nařízení, podle kterého by do roku 2020 mělo být od skládkování odkloněno 65 % biologicky rozložitelné

složky komunálních odpadů (BRKO) [1] [2]. Odpad jako surovina v teplárenství má tu hlavní výhodu, že je potenciálním zdrojem velkého množství energie. Vzhledem k tomu, že je nutné se odpadu neustále zbavovat, dostáváme rázem nevyčerpatelný zdroj energie, který je částečně schopen nahradit tuhá fosilní paliva, popř. zemní plyn, běžně používané v teplárenství. Rámcová směrnice o odpadech 2006/12/ES upravuje odpadové hospodářství ve státech EU [4]. Je v ní pevně stanovená hierarchie nakládání s odpadem, ukázaná též na obr. 1. Prvořadá je tendence předejít vzniku odpadu, následovaná snahami o jeho opětovné využití. Pod tímto pojmem si můžeme představit opětovné používání např. obalových materiálů, které se sice po využití obsahu stávají odpadem, ale po jejich shromáždění a potřebné úpravě (např. vymytí) mohou být plnohodnotně využity k původnímu účelu (skleněné lahve na nápoje). Dále je snaha o recyklaci odpadu, pod kterou si můžeme představit opětovné materiálové využití části odpadu (separace barevných kovů, papíru, plastů) a dále jiné využití odpadu, např. energetické. Až za předpokladu, že odpad nelze efektivně využít k žádnému z výše uvedených procesů, by měl být odstraněn, čímž rozumíme jeho uložení na skládku.



Obr. 1 - Pyramida nakládání s odpadem [5]

Podle výše zmíněného platného zákona č. 185/2001 můžeme odpad kategorizovat do skupin. Pro potřeby této práce se budeme zabývat bližším rozdělením pouze pro komunální odpad (katalogové číslo 20). *Komunálním odpadem podle zákona č. 185/2001 Sb. rozumíme veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob a který je uveden jako komunální odpad v Katalogu odpadů (viz tab. 2), s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání* [3].

Číslo skupiny	Skupina odpadů
01	Odpady z geologického průzkumu, těžby, úpravy a dalšího zpracování nerostů a kamene
02	Odpady z prvovýroby v zemědělství, zahradnictví, myslivosti, rybářství a z výroby a zpracování potravin
03	Odpady ze zpracování dřeva a výroby desek, nábytku, celulózy, papíru a lepenky
04	Odpady z kožedělného, kožešnického a textilního průmyslu
05	Odpady ze zpracování ropy, čištění zemního plynu a z pyrolytického zpracování uhlí
06	Odpady z anorganických chemických procesů
07	Odpady z organických chemických procesů
08	Odpady z výroby, zpracování, distribuce a používání nátěrových hmot (barev, laků a smaltů), lepidel, těsnicích materiálů a tiskařských barev
09	Odpady z fotografického průmyslu
10	Odpady z tepelných procesů
11	Odpady z chemických povrchových úprav, z povrchových úprav kovů a jiných materiálů a z hydrometalurgie neželezných kovů
12	Odpady z tváření a z fyzikální a mechanické úpravy povrchu kovů a plastů
13	Odpady olejů a odpady kapalných paliv (kromě jedlých olejů a odpadů uvedených ve skupinách 05 a 12)
14	Odpady organických rozpouštědel, chladiv a hnacích médií (kromě odpadů uvedených ve skupinách 07 a 08)
15	Odpadní obaly, absorpční činidla, čisticí tkaniny, filtrační materiály a ochranné oděvy jinak neurčené
16	Odpady v tomto katalogu jinak neurčené
17	Odpady v tomto katalogu jinak neurčené
18	Odpady ze zdravotní nebo veterinární péče a/nebo z výzkumu s nimi souvisejícího (s výjimkou kuchyňských odpadů a odpadů ze stravovacích zařízení, které bezprostředně nesouvisejí se zdravotní péčí)
19	Odpady ze zařízení na zpracování (využívání a odstraňování) odpadu, z čistíren odpadních vod pro čištění těchto vod mimo místo jejich vzniku a z výroby vody pro spotřebu lidí a vody pro průmyslové účely
20	Komunální odpady (odpady z domácností a podobné živnostenské, průmyslové odpady a odpady z úřadů) včetně složek z odděleného sběru

Tab. 2 - Katalog odpadů dle vyhlášky č. 381/2001 Sb. [6]

Komunální odpad dělíme do tří hlavních skupin:

- oddělený sběr (katalogové číslo 20 01)
- odpady z parků a zahrad (katalogové číslo 20 02)
- ostatní komunální odpady (katalogové číslo 20 03).

Poslední skupinu 20 03 můžeme dále rozdělit na:

- směsný komunální odpad (katalogové číslo 20 03 01)
- objemný odpad (katalogové číslo 20 03 07)
- ostatní složky (katalogová čísla 20 03 XX) [1].

Aplikací výše uvedené hierarchie odpadového hospodářství na komunální odpad (KO) dospějeme k závěru, že je nutné v první řadě předcházet vzniku KO. Předcházení vzniku KO je otázkou výchovy, chování a uvědomělosti každého člověka. Vzhledem k faktu, že produkce KO neustále narůstá z důvodu její přímě závislosti na hrubém domácím produktu (HDP), který se každý stát snaží neustále navyšovat, je do budoucna nutné zajistit co nejlepší zázemí k tomu, aby mohlo být co největší množství KO recyklováno, materiálově využito, nebo nejlépe, kdyby se vzniku odpadu dalo předejít [7]. V tomto ohledu se může angažovat jak jedinec tím, že kupuje výrobky v znovu využitelných obalech (skleněné lahve) nebo se snaží dávat přednost výrobkům, na které je použito jen nezbytně nutné množství obalového materiálu. Stejně tak výrobci by i v zájmu vlastního zisku měli používat jen nutné množství obalových materiálů.

Opětovným využitím a recyklací se ze skupiny KO, prakticky oddělí skupina 20 01, oddělený sběr, jehož množství je možné dále navyšovat. Zvýšení množství odděleného sběru by se dalo dosáhnout použitím většího množství sběrných kontejnerů. Ať už dojde k zhuštění sítě nejrozšířenějších typů kontejnerů (papír, plasty, bílé a barevné sklo), nebo i k většímu používání dalších typů kontejnerů např. na bioodpad, elektroodpad nebo nebezpečný odpad.

Oddělením skupin 20 01 a 20 02 z původního KO, dostáváme směsný komunální odpad (SKO), jehož recyklace je již problematická. Je tomu tak z důvodu předchozího odseparování materiálově využitelných složek SKO, díky čemuž máme co se týče odstranění dále na výběr:

- mechanicko – biologickou úpravu (MBÚ)
- skládkování
- energetické využití.

Pod pojmem MBÚ si představme kombinaci mechanických (drcení, přesívání, magnetická separace) a biologických (aerobní a anaerobní fermentace, biologické sušení) technologií úpravy SKO. Účelem MBÚ je rozdělit SKO na jednotlivé frakce:

- lehká frakce - papír, plasty, dřevo, textil
- těžká frakce - kameny, hlína, cihly
- podsítná frakce - biologicky rozložitelný odpad.

Z hlediska energetického využití má lehká frakce dobré vlastnosti, aby mohla být spalována v cementárnách, popř. spalovacích zařízeních pro ni speciálně určených. Bohužel myšlenka MBÚ a následného spalování lehké frakce je možností rizikovější a ekonomický nestabilnější než výstavba technologií na energetické využití odpadu (EVO) [1].

V současné době se valná většina SKO (cca 90 %) v České republice skládkuje a současná situace je v rozporu s uvedenými směrnici EU [1] [2] [4]. Navíc i pouhou logikou je



zřejmé, že ukládání do země je, vzhledem k energetickému potenciálu odpadu, velmi neefektivní a z ekonomického hlediska ztrátové. Podstata energetického využití odpadu je kostrou celé této práce, a proto se současnému i výhledovému stavu energetického využití odpadu bude věnovat jedna z následujících kapitol (kap. 3).

## 2.2 Produkce odpadu v ČR a jeho vlastnosti

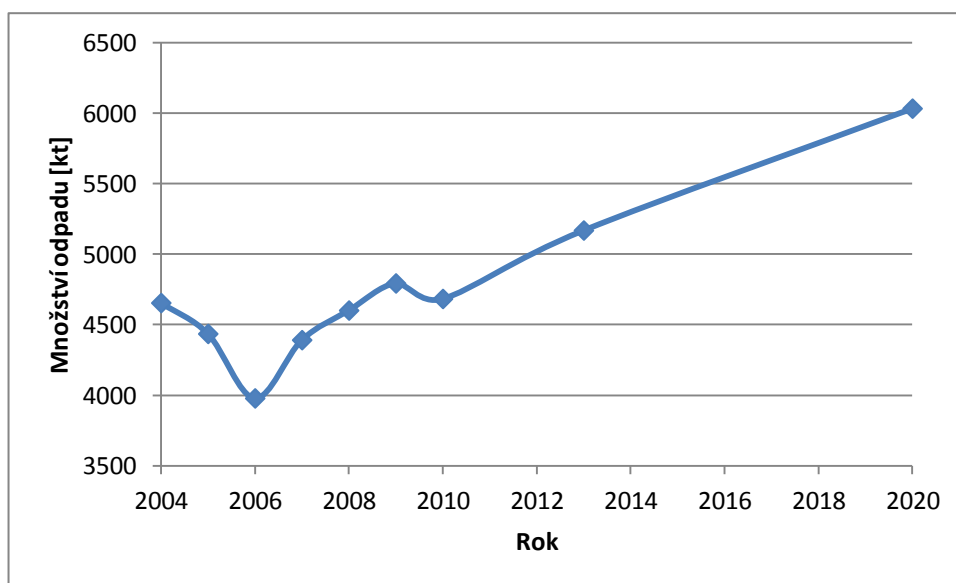
V závislosti na současné produkci odpadu, trendech životní úrovně a hospodářského vývoje je snaha o co nejpřesnější predikci množství produkovaného odpadu v následujících letech. Znalost množství odpadu, tedy i množství spalitelného odpadu je nedílnou součástí při projektování nových zařízení EVO.

### 2.2.1 Vývoj produkce odpadu v ČR

S přihlédnutím k výše uvedeným podmínkám byl společností FITE a.s. vytvořen model, který předpovídá vývoj produkce KO do roku 2020 [1]. Není samozřejmě v lidských silách naprosto přesně odhadnout množství vyprodukovaného odpadu, avšak získaná čísla, uvedená v tab. 3, mohou alespoň přibližně nastínit, do jaké míry bude produkce odpadů narůstat. S tím úzce souvisí množství odpadu, které bude nutné odklonit od skládkování. Z obr. 2 je zřetelné, že produkce odpadu by měla v následujících letech narůstat a je tedy nutné s tímto faktem počítat při plánování odpadového hospodářství.

Rok	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2013	2020
Produkce[kt]	4 655	4 436	3 979	4 392	4 602	4 794	4 684	5 169	6 033

Tab. 3 - Produkce odpadu v ČR a její výhled [1]



Obr. 2 - Graf produkce odpadu v ČR [1]



V kap. 2.1 bylo zmíněno základní rozdělení odpadu a byly zde mj. uvedeny dva druhy odpadu – směsný komunální odpad (SKO) a objemný odpad (OO). Tyto dvě kategorie odpadů jsou zmíněny záměrně, jelikož právě ony jsou z hlediska energetického využití odpadu těmi nejdůležitějšími. SKO a OO jsou složkami odpadu, který je určen k termickému zpracování. V současné době se spaluje cca 25 % SKO a u OO se jedná o množství v řádech procent a i proto celkové množství spáleného odpadu v roce 2009 činilo 337 kt. Vzhledem k požadavkům na odklon 65 % BRKO do roku 2020 bude nutno výhledově počítat s odklonem 2 850 kt odpadu ročně [1].

## 2.2.2 Základní vlastnosti odpadu

Je potřeba zmínit, že odpad je značně nehomogenní látka, jejíž vlastnosti se mění nejen se zeměpisnou polohou, ale také s ročním obdobím a v závislosti na původci odpadu. Základními vlastnostmi, které se u odpadu snažíme co nejpodrobněji určit, jsou množství, látkové složení, výhřevnost, vlhkost a obsahy vybraných látek a prvků. Určením obsahů různých prvků a látek můžeme zjistit, zda je daný odpad vhodný k recyklaci, či zda např. neobsahuje některé prvky či sloučeniny, které z něj činí odpad nebezpečný a je tedy nutné s ním nakládat podle příslušných legislativních nařízení [3] [8].

Podle typu obytné zástavby se odpad dělí do tří nejzákladnějších skupin – odpad z venkovské zástavby, ze smíšené zástavby a ze sídlištní zástavby. Do jaké míry jsou množství a vlastnosti odpadu závislé na typu zástavby ukazují tab. 4 a tab. 5.

Látková skupina	Průměrný podíl látkových skupin v komunálních odpadech z domácností		
	Sídlištní zástavba	Smíšená zástavba	Venkovská zástavba
	[% hmotnostní]		
Papír/lepenka	25,70	22,58	7,79
Plasty	16,76	17,58	9,75
Sklo	11,17	7,82	4,87
Kovy	1,68	2,13	2,60
Bioodpad	15,64	21,62	11,69
Textil	4,47	3,98	2,27
Minerální odpad	2,24	0,71	6,82
Nebezpečný odpad	0,56	0,31	0,32
Spalitelný odpad	10,61	12,37	9,42
Elektrozařízení	0,56	0,46	0,32
Zbytek 20 – 40 mm	5,03	4,68	4,87
Zbytek 8 – 20 mm	2,79	3,22	7,79
Frakce < 8 mm	2,79	2,54	31,49

Tab. 4 - Skladba KO z domácností v letech 2008 – 2009 [8]

Zástavba	kg/obyvatel za týden		kg/obyvatel na rok
	Max	Min	Průměr
Sídlištní	3,90	2,51	174
Smíšená	6,54	4,80	292
Venkovská	8,54	2,76	302

Tab. 5 - Měrné množství komunálních odpadů z domácností včetně vytríděných složek  
v letech 2008 – 2010 [8]

Jaké lze tedy z výše uvedeného získat závěry? Vyšší hodnoty produkce odpadu u smíšené zástavby mohou být ovlivněny výskytem menších živnostenských provozoven, ale především typem vytápění. Vytápění pevnými palivy zvyšuje množství odpadu nejen ve smíšené, ale i ve venkovské zástavbě.

Pokud jde o látkové složení odpadu, tak je evidentní, že odpad z venkovské zástavby má odlišnější složení, než ostatní dva druhy. Důvodem těchto odlišností bude opět v nejvyšší míře vytápění pevnými palivy, což je zřetelné z nejnižšího zastoupení papíru a naopak výrazně vyššího zastoupení zbytkových frakcí, pod kterými si nejčastěji můžeme představit popeloviny.

Obsah vody neboli vlhkost odpadu se dlouhodobě pohybuje v rozpětí 23 – 32 % hmotnosti. Vlhkost se v daném rozmezí mění v závislosti na typu zástavby a částečně i v průběhu roku. Obecně řečeno, odpad z venkovské zástavby má menší vlhkost než odpad ze smíšené a sídlištní zástavby. Z pohledu spalování odpadu je výhodnějším artiklem odpad s nižší vlhkostí, jelikož obsah vody v odpadu ovlivňuje jeho výhřevnost [8].

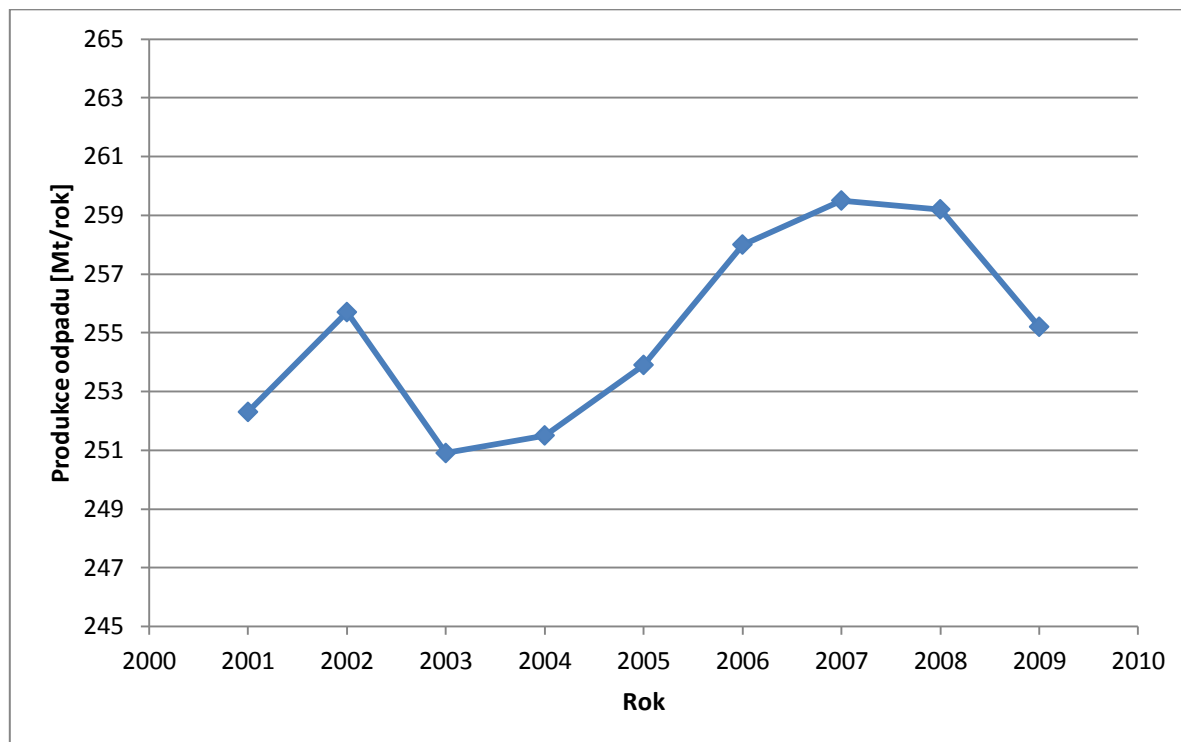
Výhřevnost odpadu je z hlediska návrhu technologie spalování tím nejdůležitějším ukazatelem. Nehomogenita odpadu zapříčiňuje to, že rozmezí výhřevnosti odpadu se v ČR pohybuje mezi 7,1 – 15,0 GJ/t odpadu, přičemž průměrná výhřevnost má hodnotu 10,9 GJ/t. Roštové části kotlů u nově budovaných spaloven se navrhují tak, aby bylo možné spalovat odpad o výhřevnosti v rozmezí 9,0 – 12,8 GJ/t, což odpovídá 25 – 75 % původního intervalu. Ani zde nesmíme zapomínat na různé složení odpadu, které je závislé na typu zástavby. Odpad z venkovské zástavby má nejnižší průměrnou výhřevnost, právě díky nejvyššímu obsahu popelovin. Hlediskem, které ovlivňuje průměrnou výhřevnost odpadu na mezinárodní úrovni, je rozhodně i průmyslová vyspělost a životní úroveň v daném státu. Obecně státy s vyšší životní úrovní produkují odpad s vyšší průměrnou výhřevností a naopak [9].

## 2.3 Současná situace v EU

Množství vyprodukovaného komunálního odpadu v zemích EU, shrnuté v tab. 6, stejně jako v celém světě v posledních letech většinou mírně narůstá, což je zřetelné z obr. 3. Proto je až už materiálové nebo energetické využívání odpadů v současné době velmi aktuálním tématem. A to nejen ve státech s již rozvinutým odpadovým hospodářstvím, ale i v zemích, které se k druhotnému využití odpadu stavěly prozatím neutrálně, ba spíše pasivně až negativně.

Rok	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
<b>Produkce KO [Mt/rok]</b>	252,3	255,7	250,9	251,5	253,9	258,0	259,5	259,2	255,2

Tab. 6 - Produkce komunálního odpadu v EU (2001 - 2009) [10]



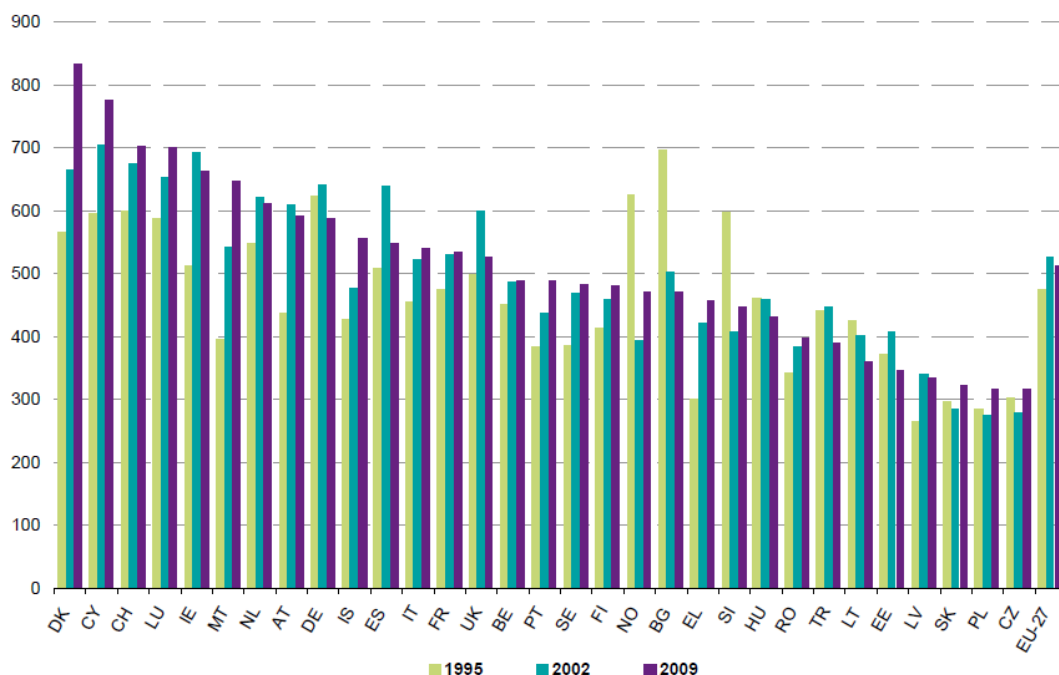
Obr. 3 - Graf produkce odpadu v EU [10]

Je samozřejmostí, že všechny státy se na produkci odpadu nepodílí stejnou měrou. V první řadě je množství vyprodukovaného odpadu státu závislé na počtu jeho obyvatel. Dalšími faktory jsou průmyslová rozvinutost, životní úroveň, či podíl obyvatelstva žijícího na venkově a ve městech. Srovnání produkce odpadu vybraných států s průměrem EU nabízí tab. 7.

Stát	Roční produkce odpadu [kt]
Německo	48 466
Francie	34 504
Velká Británie	32 507
Itálie	32 110
Španělsko	25 108
Polsko	12 053
<i>EU průměr</i>	<i>9 452</i>
Řecko	5 154
Švédsko	4 486
Dánsko	4 206
ČR	3 310
Slovensko	1 745

Tab. 7 - Roční produkce odpadu ve vybraných zemích EU v roce 2009 [10]

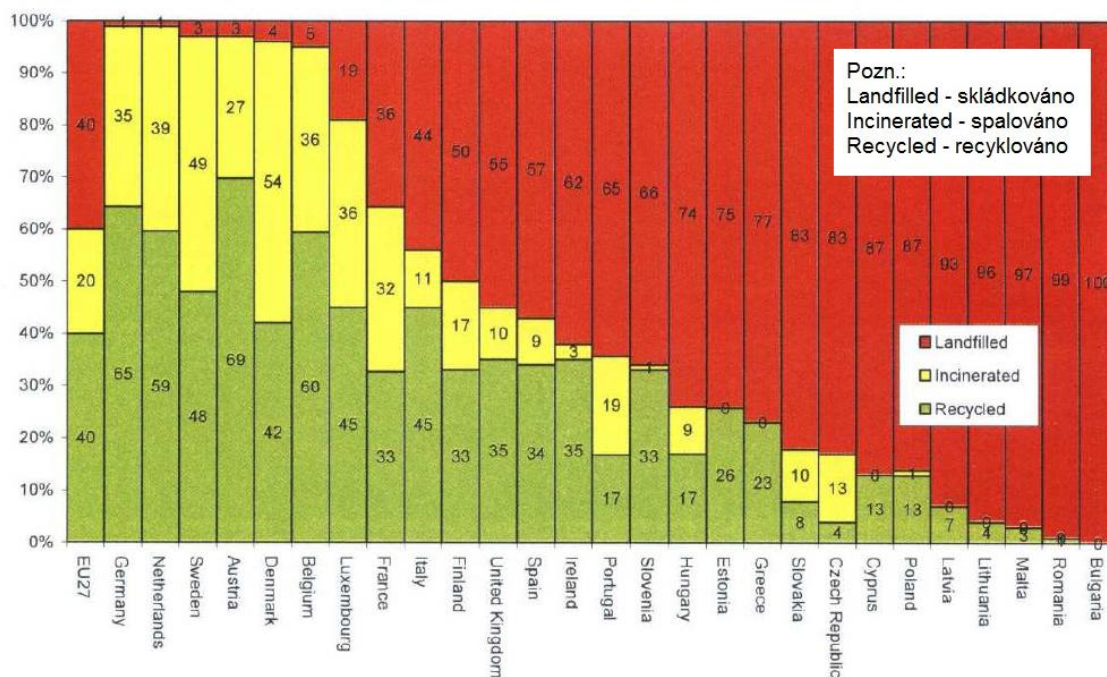
Možná ještě zřetelnější porovnání může nabídnout srovnání roční produkce odpadu na osobu, prezentované na obr. 4. Na základě výsledků mnohých studií je možné prohlásit, že průměrná produkce odpadu na osobu je výrazným způsobem závislá na ekonomické úrovni daného státu. To ve výsledku znamená, že státy s vyšší životní úrovní produkují větší měrné množství odpadu a naopak. Toto tvrzení je podloženo množstvím výzkumů, které se tématem produkce odpadu v uplynulých letech intenzivně zabývaly [7].



Obr. 4 - Produkce odpadu na osobu v zemích EU [11]

Mezi konkrétní evropské státy, které patří mezi největší producenty odpadu na osobu, řadíme Dánsko, Kypr, Švýcarsko a Lucembursko. Může být pozitivní zprávou, že Česká republika se nachází až na úplném konci s produkcí lehce nad 300 kg na osobu, přičemž průměr EU činí přibližně 500 kg na osobu a rok [11]. Porovnáme-li tuto hodnotu s průměrem mimoevropských států, tak zjistíme, že pouze Japonsko má menší roční produkci odpadu na osobu a to přibližně 407 kg. Austrálie se pohybuje s 625 kg na osobu a rok nad průměrem EU a USA taktéž se 770 kg na osobu a rok. Největším měrným ročním producentem odpadu ve světě, který překonává i všechny evropské státy, je Kanada s 894 kg na osobu [12].

Problém ale je v likvidaci odpadu, jelikož státy s nejvyspělejším odpadovým hospodářstvím již takřka veškerý odpad dále zpracují a na skládkách skončí méně než 5 % vyprodukovaného komunálního odpadu, zatímco např. ve státech východní Evropy skončí přes 90 % veškerého odpadu naprosto nevyužito na skládkách.



Obr. 5 - Podíl skládkování, spalování a recyklace odpadu v zemích EU v roce 2009 [1]

Z obr. 5 je evidentní, že Česká republika se v tomto rozdělení pohybuje mezi státy s největším procentuálním zastoupením skládkování a stejně tak je patrné, že jak procentuální podíl recyklace, tak i spalování je pod evropským průměrem. Tato situace je výhledově nepřijatelná především z důvodu, že se ČR zavázala k redukci skládkovaného odpadu. Zatímco v roce 2010 se na skládky mělo ukládat maximálně 75 % z množství odpadu jako v roce 1995, v roce 2013 by to mělo být již jen maximálně 50 % biologicky rozložitelné složky směsného komunálního odpadu a v roce 2020 již jen 35 % z množství v roce 1995 [1]. Řečí čísel to znamená, že v roce 2020 bude třeba odklonit od skládkování 2 850 kt SKO [2].

Nyní je třeba uvést drobnou poznámku ohledně uvádění množství vyprodukovaného odpadu. Čísla, která uvádí ČR pro potřeby statistiky Eurostat, se liší od hodnot, kterými se prezentuje v rámci naší republiky (např. hodnoty v tab. 3). Je tomu tak z důvodu rozdílné metodiky sčítání množství odpadu pro potřeby EU. Pro potřeby pouze ČR je množství komunálního odpadu bráno jako veškeré množství odpadu kategorie 20. Zatímco pro potřeby EU se množství komunálního odpadu skládá ze dvou dílčích složek. První složku tvoří 69 % odpadu vyprodukovaného domácnostmi a odpadu subjektů zapojených (živnostníci platící v dané lokalitě poplatky za odvoz odpadu) a druhou složkou je odpad, který vznikl při fungování subjektů nezapojených (katalogové číslo 15 01) [1].

Porovnejme si nyní nakládání s odpady v ČR se zemí, která má již rozvinutější odpadové hospodářství a skládá minimální procento odpadu. Jako příklad v této práci poslouží Dánsko, které se již od roku 1960 vydalo cestou energetického využití KO, což mu přináší v současné době nemalé výhody. Zákonem bylo rozhodnuto, že odpad, který může být energeticky využit, nesmí být skládkován. V roce 2006 fungovalo v Dánsku 29 různě velkých spaloven KO, z nichž 21 není ve vlastnictví soukromých subjektů, ale patří obcím a městům. Tyto spalovny pracují jako nezisková zařízení, přičemž jejich provoz finančně zajišťují

výnosy z prodeje energie a poplatky za odstranění odpadu. Jelikož však spalovny nevykazují zisky, tak jsou tyto poplatky nižší, než v kterékoliv jiné zemi v EU [13].

Samozejmě Dánsko není zdaleka jedinou zemí, která se vydala po cestě energetického využití odpadu. Důkazem o tom jsou ať už existující spalovny, nebo nové projekty na výstavbu gigantických spaloven, které se nyní objevují po celém světě. Možnost srovnání plánovaných projektů s fungujícími spalovnami v ČR a vybranými evropskými provozny z pohledu zpracovatelských kapacit nabízí tab. 8.

Spalovna	Stát	Kapacita [t/h]	Poznámka
WTE plant in Baoan, Shenzen	Čína	175	v rekonstrukci
Senoko WTE Plant	Singapur	100	spuštěna r. 2009
Manchester WTE Plant	Velká Británie	94	ve výstavbě
Glostrup	Dánsko	83	spuštěna r. 1970
Domestic solid waste management centre	Katar	62,5	ve výstavbě
ZEVO Malešice	ČR	60	spuštěna r. 1998
Tuas WTE Plant	Singapur	33	spuštěna r. 2009
Spokane WTE facility	USA	33	spuštěna r. 2001
Vídeň - Spittelau	Rakousko	32	spuštěna r. 1971
Sako Brno	ČR	28	spuštěna r. 1989
Termizo Liberec	ČR	12	spuštěna r. 1999

Tab. 8 - Vybrané spalovny komunálního odpadu ve světě [14] [15] [16] [17] [18]

## 2.4 Technické řešení termického zpracování odpadu

*Spalovnou odpadu rozumíme technickou jednotku se zařízením určeným ke spalování odpadu s využitím nebo bez využití vzniklého tepla, přímým oxidačním spalováním, jakož i se zařízením určeným pro jiné způsoby tepelného zpracování (pyrolýza, zplyňování, plazmové procesy) [19].* V souladu se zákonem 354/2002 Sb. rozdělujeme spalovny do kategorií zdrojů znečištění. Jako zvláště velké zdroje znečištění zařazujeme spalovací zařízení se jmenovitou provozní kapacitou:

- více než 10 tun za den nebezpečného odpadu
- více než 3 tuny za hodinu komunálního odpadu
- více než 50 tun za den jiného než nebezpečného a komunálního odpadu [19].

Stejně jako tomu je u všech průmyslových zařízení, tak i spalovny odpadu si prošly svým přirozeným vývojem, přičemž první spalovny odpadu začaly vznikat už na přelomu 20. století. Tyto spalovny sice ještě nepracovaly kontinuálním provozem, ale na druhou stranu v nich již docházelo k využití vzniklého tepla, které bylo používáno k výrobě tepla i elektřiny. Tyto první spalovny obsahovaly i jednoduché systémy čištění spalin, i když v té době se prakticky jednalo jen o filtr (popř. separátor), pomocí kterého byly zachytávány pevné částičky z unikajících spalin. Konec éry těchto prvních technologií na energetické využití odpadu znamenala druhá světová válka a následné období poválečné nápravy vzniklých škod. Postupem doby však docházelo ke zlepšování ekonomické situace, díky které docházelo ke zvýšené produkci odpadu, díky které došlo k vybudování nových, již kontinuálně pracujících



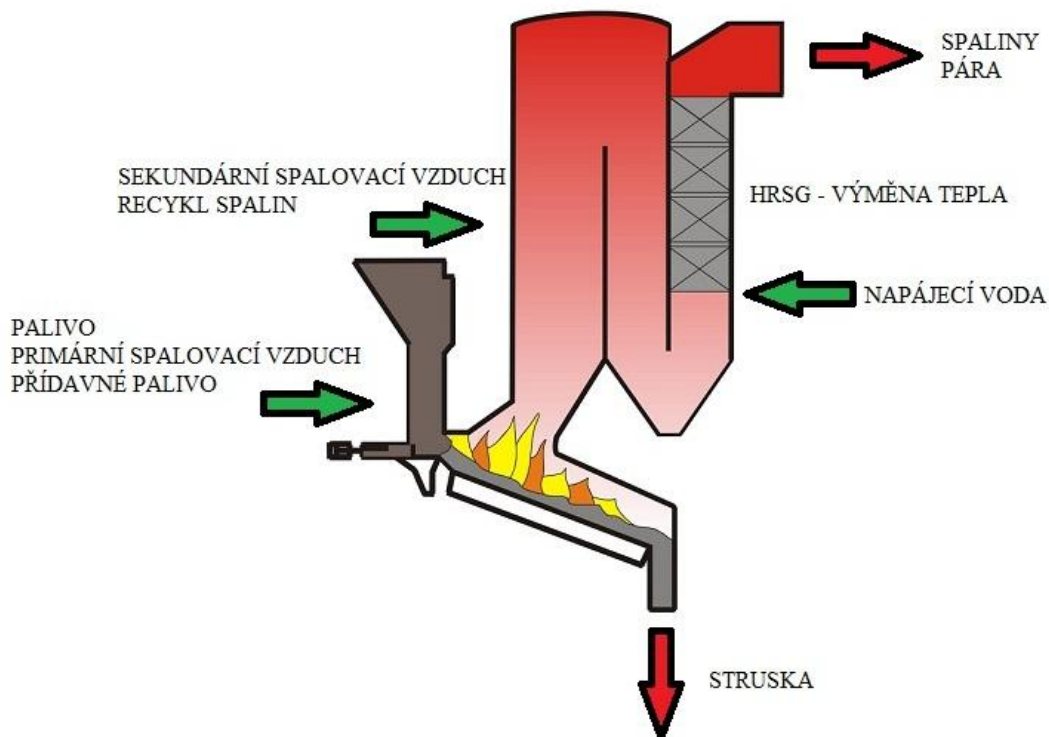
provozů. Od 80. let 20. století se navíc začaly zvyšovat nároky jak na výkony spaloven, tak i na kvalitu spalin unikajících do atmosféry. Kromě již používaných filtrů na tuhé částice, byly do spaloven zabudovány mechanismy na odstranění kyselých složek, oxidů dusíku nebo těžkých kovů ze spalin. V současnosti jsou systémy čištění spalin navrhovány podle metody BAT (Best Available Technique), která je dána předpisem EU BREF (BAT Reference Documents [20]).

Současná spalovna komunálního odpadu je složité zařízení, skládající se z mnoha dílčích provozních souborů. Jako nejvýznamnější jmenujme zařízení pro příjem a přechodné uskladnění odpadu, systém pro přívod odpadu, spalovacího vzduchu a podpůrného paliva, termickou část, systém na využití vyrobeného tepla, jednotky pro čištění spalin, komín, zařízení pro uskladnění nespálitelných zbytků a centrum pro řízení celého spalovacího procesu.

### 2.4.1 Systém spalování

Proces příjmu a uskladnění odpadu ve spalovně začíná na bráně, kde jsou vozy s odpadem zváženy a zkontrolovány detektorem radioaktivního záření. Dále je odpad vsypán do drtiče, kde dojde k jeho zjemnění a poté končí ve skladovacím bunkru, odkud už může být dávkován do spalovacího kotle. Pohyblivá ramena, která odpad na rošt dávkuje, slouží též k promíchávání odpadu, což vede k jeho homogenizaci a minimalizaci výkyvů hodnoty výhřevnosti.

V současnosti se ve spalovnách používají kotle s posuvným roštem, na kterém dochází k samotnému tepelnému rozkladu odpadu. K roštu je přiváděn tzv. primární vzduch, který zajišťuje ochlazování roštu při hoření a zároveň vysušuje odpad. Pro dosažení co nejvyšší účinnosti je třeba primární vzduch před vstupem do kotle předehřát a to obvykle na teplotu 150 - 180 °C. K ohřevu primárního vzduchu se používá pára, odebraná na výstupu z kotle. Množství primárního spalovacího vzduchu tvoří přibližně 60% vzduchu, použitého při spalování. Primární spalovací komora dále obsahuje přívod podpůrného paliva, kterým nejčastěji bývá zemní plyn. Je-li spalovací linka dobře navržena, není potřeba používat při běžném provozu podpůrné palivo. Pouze při nepravidelnostech v provozu, do kterých počítáme uvedení do provozu nebo najíždění po odstávce, se kotel ohřívá na pracovní teplotu s pomocí spalování podpůrného paliva, kterým obvykle bývá zemní plyn. Prostor kotle s roštem se nazývá primární spalovací komora, zatímco prostor nad roštem bývá nazýván jako sekundární spalovací komora. Dochází zde totiž k dohořívání odpadu za pomoci sekundárního spalovacího vzduchu, který je do nadroštového prostoru za tímto účelem přiváděn. Jeho množství je ale nižší než množství primárního spalovacího vzduchu, ale i tento vzduch může být ohříván. Do kotle bývají dále přiváděny spaliny, zbavené pevných částic. Díky jejich přítomnosti ve spalovacím procesu dochází k úspoře sekundárního spalovacího vzduchu, menší produkci spalin a též vyšší účinnosti odstranění  $\text{NO}_x$ . Celkové schéma spalovacího kotle je názorně ukázáno na obr. 6 [1] [9].



Obr. 6 - Schéma spalovacího kotle

Na sekundární spalovací komoru navazuje teplosměnný systém (HRSG). Zde dochází ke tvorbě páry, která následně putuje do turbín. Výchozí látkou pro tvorbu této páry je tzv. napájecí voda, která je částečně tvořena kondenzátem, odcházejícím z turbín a z části tzv. DEMI vodou, což je voda, zbavená veškerých minerálních látek. Pro dosažení co nejvyšší účinnosti je dobré, aby měla napájecí voda při vstupu do teplosměnného systému určitý tlak a teplotu, které se dá dosáhnout předehřevem, ke kterému se používá opět vyrobená pára. Teplosměnný systém se skládá ze tří základních částí, kterými jsou přehřívák, výparník a ekonomizér, ve kterých dojde k předání tepla ze spalin do napájecí vody, která se tím pádem přeměňuje na páru o požadovaných parametrech [1] [9].

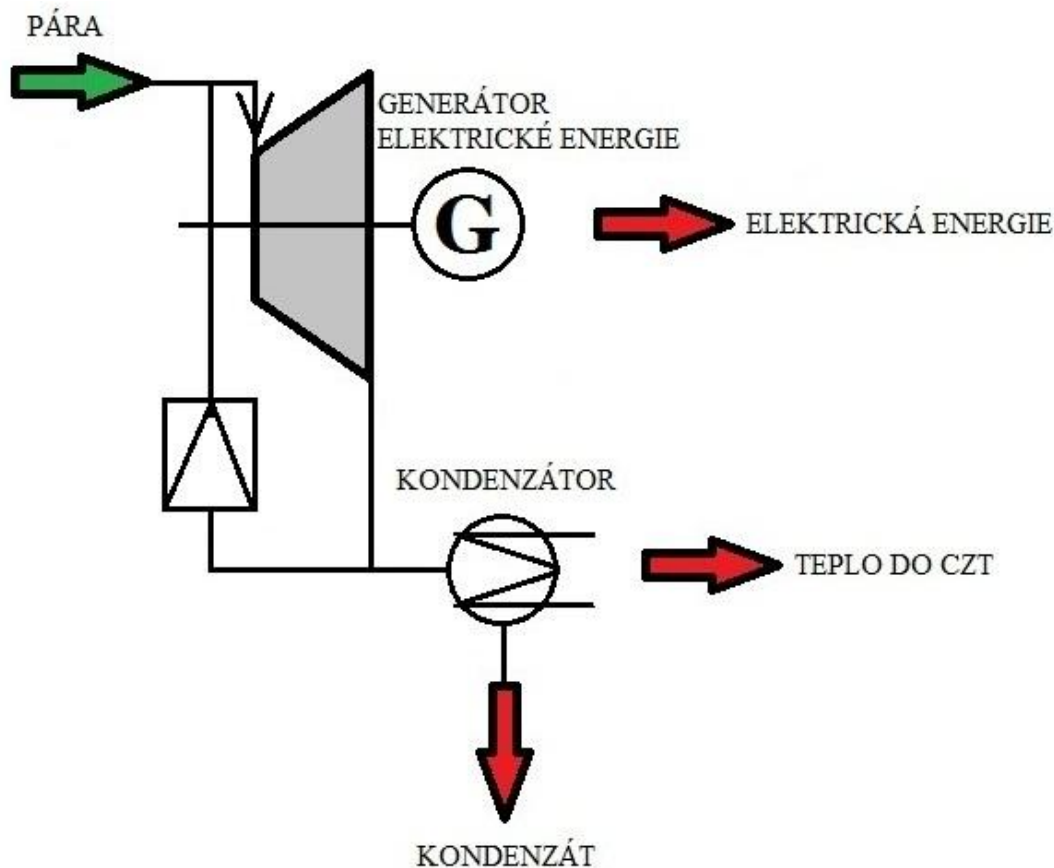
Vyhořelý odpad je roštem veden do bunkru na strusku, kde zcela vychladne a následně je ze spalovny vyvážen a používán ve stavebnictví, jako příměs do tvárnice, popř. jako příměs při výrobě silničních povrchů. Ještě před odvozem ze spalovny a tímto využitím jsou ze strusky pomocí magnetického separátoru odděleny kovové části, které se dále recyklují [9].

#### 2.4.2 Systém využití páry

Systém na využití vyrobeného tepla, v podobě páry (obvykle s parametry 4 MPa a 420 °C) je další velmi důležitou částí spalovny. Tento systém, prakticky reprezentuje turbína, jejíž typ a parametry jsou co nejlépe přizpůsobeny technologii a požadavkům na druh vyráběné energie. Pára, odcházející z kotle má potenciálně širokou paletu využití. V první řadě může být pomocná i v samotné technologii spalovny na ohřev primárního vzduchu a předehřev napájecí vody. Dále může být pára exportována do sítě CZT ať už na vytápění lidských obydlí

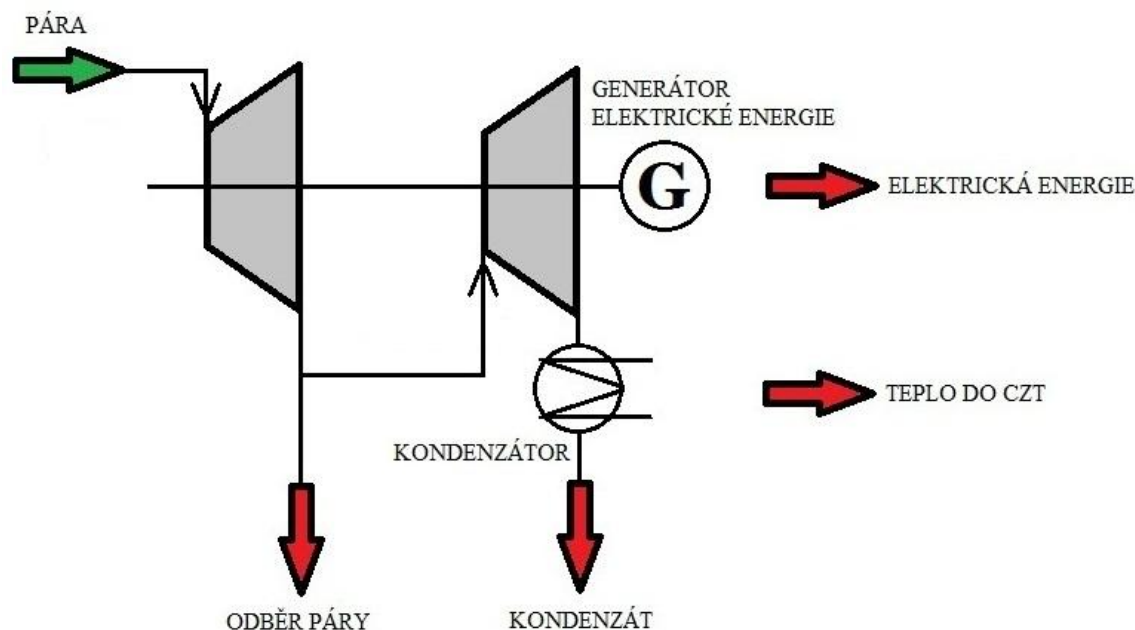


v osídlené zástavbě, nebo lze páru poskytovat jiným průmyslovým podnikům, které ji potřebují a jsou jinak nuceni si ji sami vyrábět. V případě, že pára nenajde upotřebení, dochází na turbínách ke generaci elektrické energie, která může sloužit jak pro potřeby spalovny nebo okolních podniků, tak ji lze i distribuovat do sítě. Teoreticky možné je i páru exportovat a vyrábět z ní elektrickou energii mimo spalovnu.



Obr. 7 - Schéma parní protitlaké turbíny

V současnosti nejčastěji dochází ke kombinaci tří prvních výše uvedených možností. Vzniklé teplo je používáno ke kogeneraci, čímž rozumíme výrobu tepla a elektrické energie současně. Pro tento případ se nejčastěji používají kondenzační odběrová nebo parní protitlaká turbína. Parní protitlaká turbína, jejíž schematické uspořádání je znázorněno na obr. 7, se používá v případech, kdy je zaručen konstantní a vysoký odběr tepla. Naopak jsou-li požadavky na dodávku tepla nestálé, je lepší umístit do technologie kondenzační odběrovou turbínu, znázorněnou na obr. 8. K zajištění stálého odběru páry proti často dochází k podpisu smluv o dlouhodobých dodávkách tepla mezi spalovnami a teplárenskými společnostmi, které zajišťují odbyt tepla po celý rok [1] [9].



Obr. 8 - Schéma parní odběrové turbíny

### 2.4.3 Systém čištění spalin

Jednotky na čištění spalin jsou velmi důležitou součástí celé spalovny a výrazně ovlivňují její ekonomickou a energetickou náročnost. V souladu s platnými legislativními předpisy je nutné, aby spaliny odcházející komínem ze spalovny obsahovaly předepsané množství jednotlivých polutantů. Znečišťující látky můžeme rozdělit do následujících skupin – tuhé znečišťující látky (TZL), oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ), organické látky, oxid uhelnatý (CO), oxid siřičitý ( $\text{SO}_2$ ), chlorovodík (HCl), fluorovodík (HF), těžké kovy a dioxiny a furany (PCDD/F). Jejich emisní limity pro spalovny komunálního odpadu získané ze zákona č. 354/2002 Sb. jsou shrnuty v tab. 9.

Polutant	Emisní limit [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]
Tuhé znečišťující látky (TZL)	10
Organické látky v plynné fázi vyjádřené celkovým obsahem organického uhlíku (TOC)	10
Plynné anorganické sloučeniny chloru vyjádřené jako HCl	10
Plynné anorganické sloučeniny fluoru vyjádřené jako HF	1
Oxid siřičitý ( $\text{SO}_2$ )	50
Oxid dusnatý a dusičitý vyjádřené jako $\text{NO}_x$ pro stávající spalovny o jmenovité kapacitě:	
• nad 6 t/hod a nové spalovny	200
• do 6 t/hod	400
Oxid uhelnatý (CO)	50
Dioxiny a furany (PCDD/PCDF)	0,1 ng TEQ
Rtuť (Hg)	0,05
Kadmium (Cd)	0,05
Těžké kovy (měď, olovo, arzén, chróm)	0,5

Tab. 9 - Emisní limity pro spalovny odpadu v ČR [19]

*Pozn.: Koncentrace PCDD/F se vyjadřují jako toxický ekvivalent (TEQ), který udává hodnotu koncentrace jednotlivých látek přepočtených na ekvivalentní množství 2,3,7,8-tetrachlordibenzo-p-dioxinu [21].*

Tuhé znečišťující látky ve formě popílku se odstraňují převážně pomocí elektrostatických odlučovačů, cyklonů, mokré vypírky nebo látkových filtrů. Látkové filtry lze zároveň ještě kombinovat s katalyzátorem, který je nanesen na filtr a odstraňuje jiné znečišťující látky (např.  $\text{NO}_x$ , dioxiny). Všechny tyto jednotky mají dostatečnou účinnost při odstraňování TZL. Avšak elektrostatické odlučovače mají vyšší účinnost než látkové rukávce, ale taktéž i cena odlučovačů je vyšší [9].

Oxidy dusíku se nejčastěji odstraňují pomocí selektivní nekatalytické redukce (SNCR), selektivní katalytické redukce (SCR) nebo pomocí látkových popř. keramických filtrů. Při selektivní redukci se do spalin vstříkuje amoniak ( $\text{NH}_3$ ) a  $\text{NO}_x$  sloučeniny se redukují na dusík ( $\text{N}_2$ ) a vodu ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Při selektivní nekatalytické redukci se činidlo vstříkuje do spalin o vysoké teplotě (930 - 980 °C), zatímco při katalytické redukci činidlo prochází společně se spalinami při teplotách 175 - 600 °C přes katalyzátor, kterým může být pevné lože, nebo filtrační rukávec. Jako katalyzátor využíváme převážně oxidy vzácných kovů (titan, wolfram, platina). Selektivní katalytická redukce má vysokou účinnost odstraňování oxidů dusíku, avšak je třeba počítat s vyššími investičními náklady než u redukce nekatalytické, která však nemá tak vysokou účinnost [9].

Oxid siřičitý, chlorovodík a fluorovodík, souhrnně nazývané jako kyselé složky se odstraňují pomocí reakce s alkáliemi při metodách mokré a polosuché vypírky, nebo suchého čištění. Princip využití mokré vypírky spočívá v kontaktu spalin s vodným roztokem hydroxidu sodného ( $\text{NaOH}$ ) v několika stupních, přičemž v každém stupni má absorbent jiné pH a odstraňuje jinou kyselou složku. Mokrý vypírka má vysokou účinnost odstraňování škodlivin, proto ji lze používat např. i ve spalovnách na nebezpečný odpad. Její nevýhodou je ale však potřeba následného zpracování odpadní vody v čističce odpadních vod, nebo v odpařovací koloně. Polosuchá metoda je rozdílná tím, že se voda z vodného roztoku absorbentu při kontaktu se spalinami odpaří a zbylé suché produkty se zachycují na následně řazeném látkovém filtru. Jako absorbent v tomto případě používáme vodný roztok hydroxidu vápenatého ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) nebo uhličitanu sodného ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Výhoda oproti mokré vypírce je zřejmá a je jí absence odpadní vody. Polosuchá vypírka však má nižší účinnost zachytu kyselých složek, což může tvořit problémy při spalování nehomogenního odpadu a případného výskytu velkého množství kyselých složek ve spalinách. Suché metody spočívají v přidávání absorbentu do spalin o nižší teplotě (150 - 350 °C). Jako absorbent v tomto případě používáme pálené vápno ( $\text{CaO}$ ), bezvodý hydroxid vápenatý ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), uhličitán sodný ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) nebo hydrogen uhličitán sodný ( $\text{NaHCO}_3$ ). Výhoda suchého čištění opět spočívá v nižších ekonomických nákladech z důvodu nepotřeby čističky odpadních vod. Nevýhodou je stejně jako u polosuché vypírky neschopnost dokonalého čištění při výkyvech koncentrace kyselých složek [9].

Těžké kovy se ve spalinách vyskytují převážně v pevném skupenství, a proto dojde k jejich částečnému odloučení v elektrostatickém odlučovači. Menší procento těžkých kovů v kapalně a plynné fázi se odstraní metodami na odstraňování kyselých složek, popsány výše. Nejvíce problematickým z pohledu koncentrace těžkých kovů bývá obsah rtuti ( $\text{Hg}$ ). Snížení koncentrace rtuti dosáhneme kromě mokré vypírky také adsorpcí na aktivním uhlí, popř. jinými technologiemi, založenými na principu reakce rtuti s peroxidem vodíku ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) [9].

Dioxiny a furany se stejně jako těžké kovy vyskytují v adsorbované formě na tuhé částice a jsou tedy částečně odloučeny společně s ostatními tuhými částicemi. Dalšími technologiemi, které odstraňují dioxiny a furany jsou selektivní katalytická redukce, katalytická filtrace nebo adsorpce na povrchu aktivního uhlí, popř. umělých hmot na speciálních, k tomu určených filtrech [9].

Organické látky a oxid uhelnatý (CO) se při správném dodržení podmínek pro spalování uvolní v množství menším, než udává emisní limit a není tedy třeba instalovat speciální zařízení pro redukci jejich množství. Pouze výjimečně se používá adsorpce pomocí aktivního uhlí, ale v tomto případě jsou adsorbovány i jiné uhlovodíky [9].

Pro ekonomiku celého procesu je kromě jednotlivých zvolených technologií velmi důležitý i vzájemný vliv jednotlivých částí. Každý pracovní prvek systému čištění spalin má svojí optimální pracovní teplotu a je tedy důležité i jejich co nejvhodnější řazení. Jsou známy případy spaloven, ve kterých z důvodu dosažení co nejvyšší účinnosti odstranění škodlivin dochází mezi jednotlivými prvky k ohřívání čištěných spalin, aby bylo dosaženo co nejoptimálnějších pracovních podmínek. Což ovšem na druhou stranu vede k vyšší spotřebě vyrobené páry [1] [7] [9].

## 3 Produkce a využívání odpadů v ČR

V první kapitole této práce bylo zmíněno, že Česká republika patří v rámci EU i celého světa k těm menším producentům odpadu. Přesto se stále nabízí otázka, jak dokážeme naložit se vzniklým odpadem. Studie, která byla vypracována na Ústavu procesního a ekologického inženýrství, byla zaměřena na výstavbu sítě spaloven komunálního odpadu, ve kterých by byl vzniklý odpad energeticky využit. K tomu, aby v České republice vznikla fungující síť spaloven, je nezbytně nutné znát produkci odpadu v jednotlivých krajích a v závislosti na ní tuto síť navrhnout. Z tab. 10 je zřejmé, že nové spalovny by měly být navrhovány tak, aby svoji kapacitou pokryly produkci spalitelného odpadu v daném kraji, popř. i částečně v kraji sousedícím.

KRAJ	2009	2013		2020		
	SKO + OO	SKO + OO	K energetické- mu využití	SKO + OO	K energetické- mu využití	Plánovaná kapacita spaloven
	[kt]					
Praha	561,6	598,9	365,7	691,8	507,0	540
Jihočeský	190,3	202,9	119,8	234,4	171,0	170
Jihomoravský	436,3	465,3	280,8	537,5	393,5	224
Karlovarský	107,2	114,3	69,8	132,1	96,8	
Královéhradecký	161,5	172,2	99,7	198,9	144,7	
Liberecký	174,7	186,4	110,7	215,3	157,2	96
Moravskoslezský	410,6	437,8	265,5	505,7	370,3	370
Olomoucký	210,7	224,7	134,5	259,5	189,7	150
Pardubický	154,6	164,9	98,1	190,5	139,1	320
Plzeňský	172,1	183,5	117,5	212,0	156,4	97
Středočeský	520,4	555,0	318,9	641,1	465,9	430
Ústecký	310,6	331,2	201,5	382,6	280,3	150
Vysočina	152,0	162,1	95,8	187,3	136,6	150
Zlínský	180,1	192,1	120,8	221,8	163,3	163

Tab. 10 - Produkce spalitelného odpadu v krajích a výhled [1]

### 3.1 Spalovny SKO v provozu

Jak již bylo zmíněno, v současné době fungují na území ČR tři spalovny SKO se souhrnnou zpracovatelskou kapacitou cca 620 kt/rok [1]. Tato kapacita bohužel ani zdaleka nepokrývá produkci spalitelného odpadu v současnosti, bez ohledu na vzrůstající tendenci produkce odpadu a závazky, které ČR má vůči směrnicím EU.

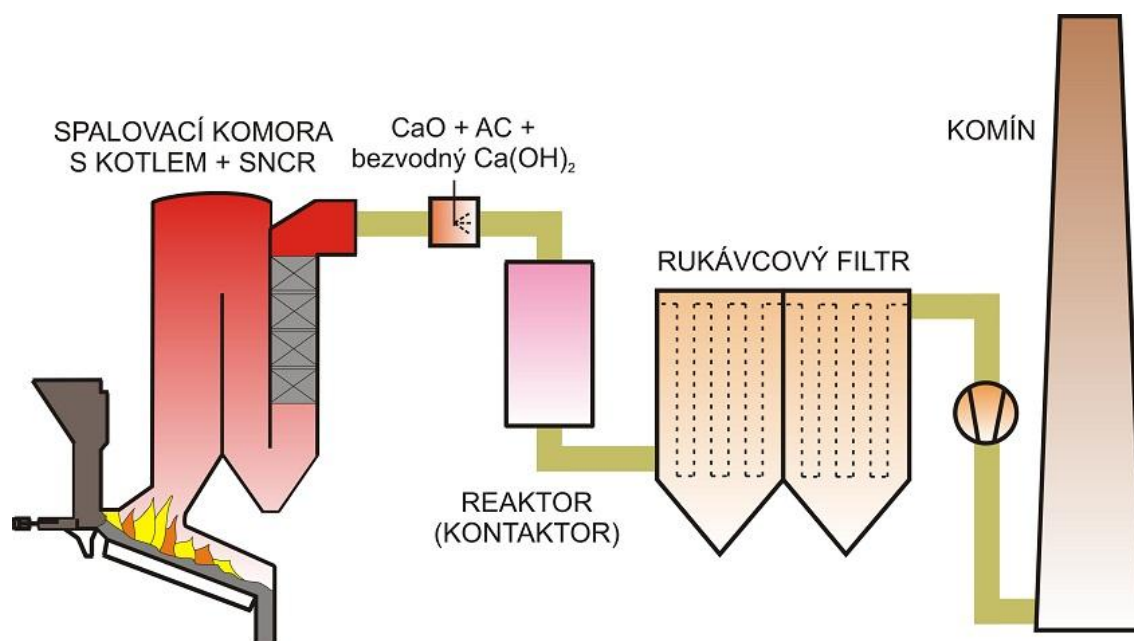
#### 3.1.1 Sako Brno

Spalovny komunálního odpadu provozované v Brně se mohou chlubit dlouhou a bohatou historií. Již roku 1905 se Brno mohlo pochlubit první spalovnou odpadu v tehdejší Rakousko – Uhersku. Tato spalovna fungovala až do roku 1941, kdy byl její provoz zastaven

a následně byla na konci 2. sv. války zničena při bombardování. V 80. letech 20. století se zrodil projekt na výstavbu nové spalovny SKO, který byl roku 1989 zdárně dotažen do konce. Bohužel se postupem doby stala spalovna, provozovaná firmou Sako Brno, a.s. vzhledem k narůstajícím nárokům, neefektivní a bylo rozhodnuto o její rekonstrukci. Z původních 3 kotlů, ze kterých za běžného provozu pracoval pouze jeden, byly 2 kotle vybourány a do volných prostor byla přistavěna nová linka, takže po rekonstrukci pracují ve spalovně dvě linky, přičemž každá z nich pracuje s kapacitou 14 t/h, což dává dohromady roční kapacitu 220 kt [16].

Další rekonstrukce v roce 2009 též přinesla změnu v technologii čištění spalin., která uvedla brněnskou spalovnu do podoby uvedené na obr. 9. Dosavadní technologii založenou na polosuché vypírce spalin pro odstranění kyselých složek ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{HCL}$ ,  $\text{HF}$ ) nahradilo suché čištění spalin, které mimo kyselých složek těžkých kovů odstraňuje zároveň dioxidy a furany (PCDD/F). Technologie selektivní nekatalytické redukce oxidů dusíku ( $\text{NO}_x$ ) probíhající přímo za kotlem a látkový filtr pro zachycení tuhých částic zůstaly [9] [16].

Na počátku roku 2011 renovovaná spalovna ukončila zkušební provoz a v současné době je její kapacita plně vytěžována spalováním odpadu z celého regionu a dalších míst v Jihomoravském kraji. Na základě smluv mezi kraji je též do spalovny dovážen odpad z Olomouckého kraje.



Obr. 9 - Schéma SAKO Brno [16]

### 3.1.2 Zevo Malešice

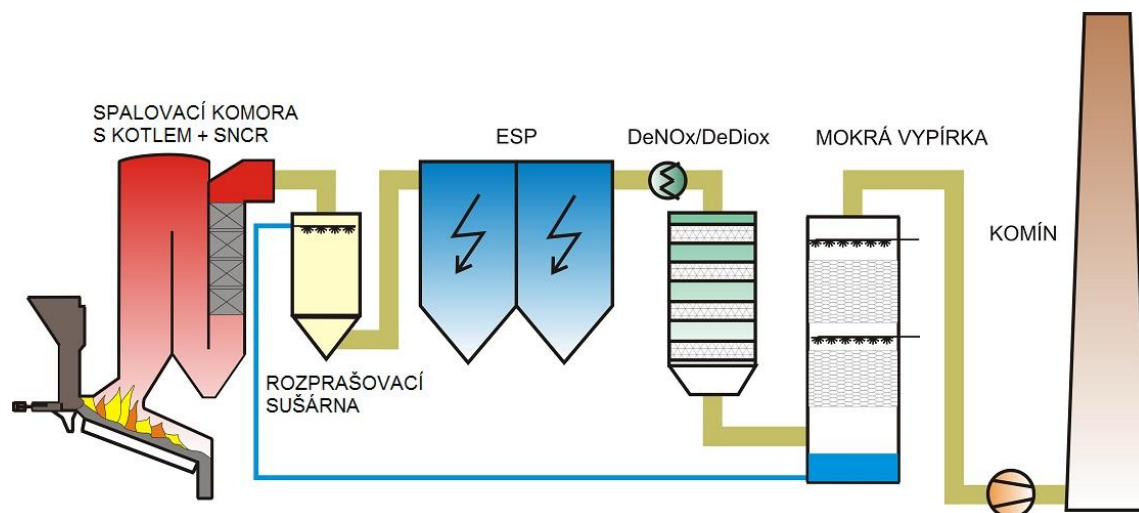
Také Praha se v 70. letech 20. století začala zabývat svým odpadovým hospodářstvím a byl zjištěn nedostatek prostor pro potenciální umístění skládek. Výstavba spalovny komunálního odpadu se tedy zdála jako logické řešení problému. Po dlouhých průtazích bylo nakonec až v roce 1986 rozhodnuto o výstavbě spalovny. Tento projekt se začal realizovat v roce 1988, avšak problémy s financováním ho v roce 1994 zastavily. Nedostavěná spalovna se stala majetkem hlavního města Prahy, které ji dalo do opatrovnictví Pražským službám. Stavba



začala pokračovat až v roce 1996 a její dokončování trvalo přibližně dva roky. Do trvalého provozu byla spalovna uvedena v září roku 1998 a s různými technologickými úpravami funguje dodnes. V roce 2000 došlo ke spuštění technologie selektivní nekatalytické redukce  $\text{NO}_x$  a aplikaci aktivního uhlí do vápenné suspenze z důvodu odstranění PCDD/F a rtuti ze spalín. V roce 2007 bylo rozhodnuto o začlenění technologie selektivní katalytické redukce (DeNox/DeDiox), která odstraňuje kromě oxidů dusíku i PCDD/F [22].

Základem technologie celé spalovny jsou čtyři kotle, přičemž každý z nich má kapacitu 15 t/h. Obvykle jsou v provozu tři kotle a poslední vykonává funkci rezervy pro odstávky a výjimečné provozní stavy. Technologie čištění spalín se mimo již zmíněných SNCR denitrifikačního zařízení a SCR (Denox/Dediox) reaktoru skládá z elektrostatického odlučovače, který odstraňuje ze spalín tuhé částice, odpařovací kolony, jejíž umístění je nezbytné v důvodu použití mokré vypírky, která zapříčiňuje redukci kyselých složek ze spalín. Celá technologie spalovny je schematicky znázorněna na obr. 10 [9].

Spalovna Zevo Malešice je navržena tak, aby byla schopná ročně odstranit až 310 kt SKO a oprostila Prahu od nutnosti skládkování odpadu. V roce 2010 zde bylo energeticky využito 237 kt SKO a vyrobeno 662 kt páry, z které bylo vyrobeno 717 756 GJ tepla [17].



Obr. 10 - Schéma ZEVO Malešice [9]

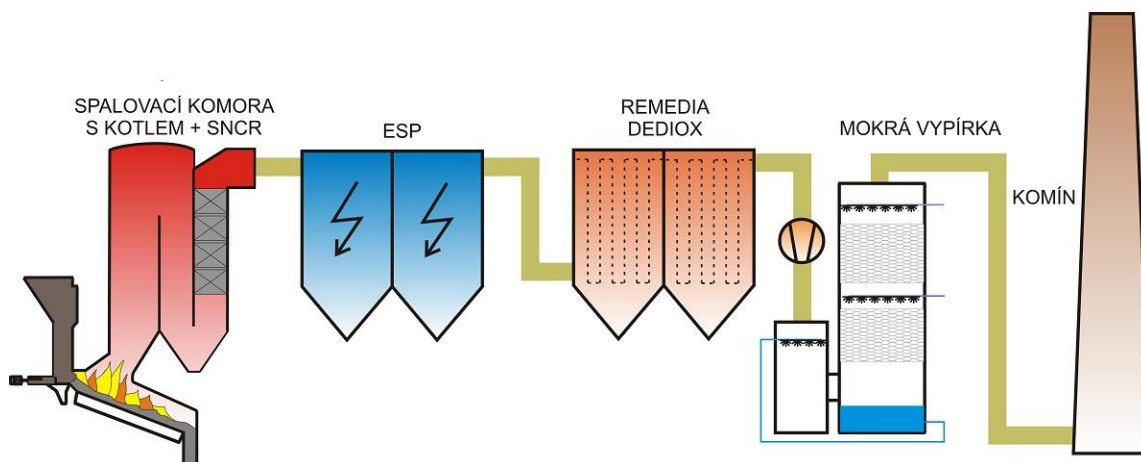
### 3.1.3 Termizo Liberec

Liberecká spalovna je ze tří současně fungujících tou nejmladší. Její výstavba byla započata roku 1996 a dokončena v roce 1999. První významnější rekonstrukcí prošla v roce 2009, kdy došlo k vylepšení chlazení kotlů a inovaci řídicího systému. V roce 2010 byla do provozu začleněna nová parní protitlaká turbína o výkonu přibližně 1 MW.

Technologie systému čištění spalín se skládá ze selektivní nekatalytické redukce (SNCR)  $\text{NO}_x$ , dále z elektrostatického odlučovače na zachycení pevných částic, z katalytického filtru Remedica, který se zabývá rozkladem nebezpečných dioxidů a furanů na bezpečné složky a v poslední řadě také z mokrého čištění spalín [9].

Spalovna Termizo, pracující podle obr. 11 ročně odstraní v průměru 93 kt odpadu, ze které vyrobí 698 000 GJ tepla. Zároveň je z přebytečné páry vyráběna i elektrická energie, která

pokryje spotřebu celé spalovny a zároveň je dalších 8,2 GWh ročně dodáváno do veřejné sítě [18].



Obr. 11 - Schéma TERMIZO Liberec [9]

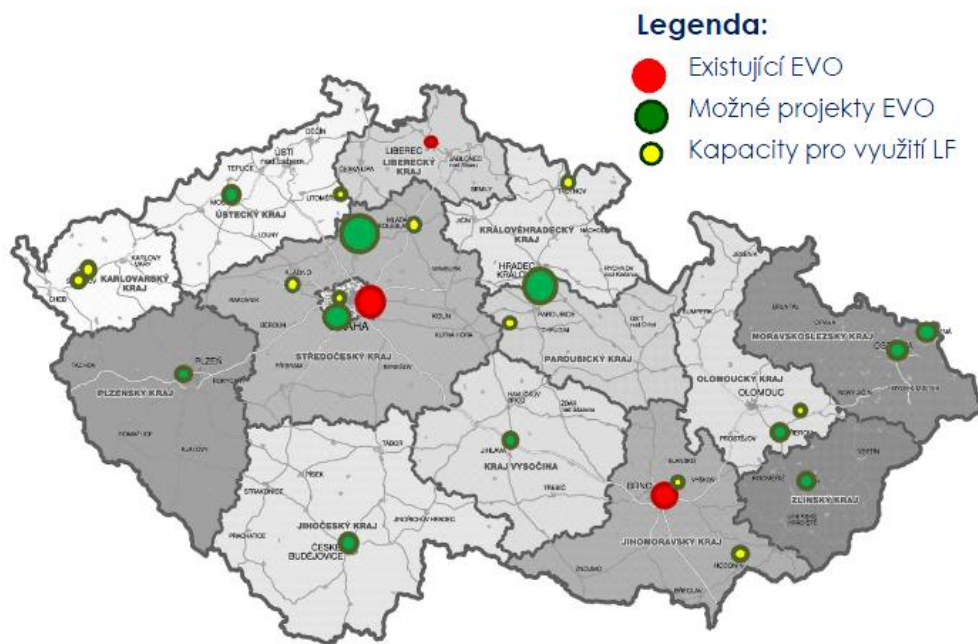
### 3.2 Plánovaná výstavba nových spaloven SKO

V závislosti na odhadované produkci odpadu byla na Ústavu procesního a ekologického inženýrství vypracována koncepce výstavby 11 nových zařízení EVO, které by měly svojí zpracovatelskou kapacitou pokrýt množství odpadu, které by do roku 2020 mělo být odkloněno od skládkování, tedy přibližně 2 850 kt ročně [1]. Studie byla navržena také s velkým ohledem na ekonomiku odpadového hospodářství, kdy celá republika bude rozdělena do pomyslných oblastí, ze kterých by byl odpad svážen do určité spalovny a to s co nejnižšími náklady na dopravu. Tyto oblasti, které ukazuje obr. 12, korespondují z velké části s rozdělením ČR do krajů. V závislosti na rozdílné produkci odpadu a možných dodávkách tepla v rámci ČR byly co nejpřesněji navrženy zpracovatelské kapacity a lokality konkrétních nově projektovaných spaloven, jejichž seznam je obsahem tab. 11.

Lokalita	Kraj	Zpracovatelská kapacita [kt/rok]
Chotíkov	Plzeňský	97
Most	Ústecký	150
Karviná	Moravskoslezský	190
Mělník	Středočeský	430
Praha – Řeporyje	Středočeský/Praha	230
Opatovice	Pardubický	320
České Budějovice	Jihočeský	170
Jihlava	Vysočina	150
Přerov	Olomoucký	150
Otrokovice – Zlín	Zlínský	163
Ostrava	Moravskoslezský	180

Tab. 11 - Plánované lokality na výstavbu SKO [1]





Obr. 12 - Mapa současných a možných budoucích lokalit na výstavbu zařízení EVO [1]

Těchto 11 nových spaloven spolu se třemi již fungujícími spalovnami by v případě realizace všech projektů zajistilo souhrnnou zpracovatelskou kapacitou cca 2 850 kt/rok. Úkolem projektantů je nyní navrhnout technologii spaloven tak, aby bylo reálně možné výstavbu každé ze spaloven prezentovat jako investičně zajímavý a výhodný projekt. V tomto případě je také nutné brát v potaz vývoj ceny elektrické energie a tepla, poplatky za svoz odpadu a výši státních dotací za výrobu energie z druhotných a obnovitelných zdrojů. Každý z projektů uvedených v tab. 11 se nachází v jiné fázi, přičemž ty nejvíce pokročilé projekty budou zmíněny v další části této práce.

### 3.3 Přípravované projekty

Nově plánovaná síť spaloven se bude, jak bylo již řečeno, skládat ze tří současných a 11 nových spaloven. Přičemž každá z nově plánovaných spaloven se momentálně nachází v jiném stádiu projektu. Tři z těchto nových spaloven, ale již úspěšně zažádaly o dotace od EU a momentálně se nachází ve fázi získávání stavebního povolení. Jejich společným vodítkem je podobný předpokládaný rok uvedení do provozu a měly by se tedy přibližně pohybovat ve stejném stádiu projektu.

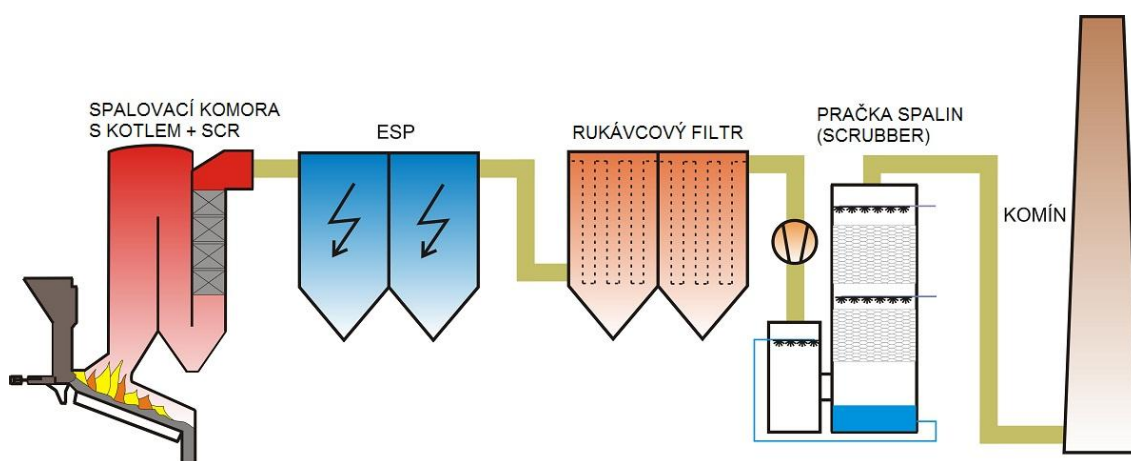
#### 3.3.1 KIC Karviná

V Moravskoslezském kraji byla výstavba spalovny plánována od roku 2005, přičemž později bylo rozhodnuto, že by měla nová spalovna vyrůst v Karviné, přesněji v lokalitě bývalého dolu Barbora. Jako investoři v tomto projektu vystupují Moravskoslezský kraj a Sdružení KIC, které zahrnuje 6 měst v Moravskoslezském kraji (Ostrava, Karviná, Havířov, Opava, Frýdek – Místek a obec Horní Suchá).

V současné době již spalovna má stavební povolení, ale výstavba je aktuálně pozastavena, kvůli protestům ochránců přírody, kteří lokalitu určili jako místo výskytu vzácné vážky. Navíc se vyskytly problémy ohledně dotací Evropské unie. Konkrétně jde o to, že místo původně plánované dotace ve výši 40 % z celkové investice, bude výstavba spalovny Evropskou unií dotována pouze z 20 % a bude nutné získat buď další finance od již současných akcionářů, nebo nového strategického partnera, který potřebnou částku, která činí přibližně 1 miliardu Kč, do projektu investuje. Problémy s ekologickými aktivisty a sdruženími na ochranu přírody se však vyskytují prakticky u každého z projektů a nemusí tím být na mysli pouze spalovny komunálního odpadu. Dalším problémem, který většinou trápí obyvatelstvo v okolí spalovny je nárůst množství škodlivin v ovzduší. Konkrétně Karviná se s těžkou smogovou situací vypořádává již značně dlouhou dobu, a obyvatelé tedy mají obavy ze zhoršení již tak velmi špatné situace. Zřejmě jen malé procento lidí z nezasvěcených obyvatel je seznámeno s faktem, že emisní limity pro spalovny odpadů jsou nesmírně přísné (v porovnání s uhelnými elektrárnami), ale přesto budou v nových spalovnách striktně dodržovány. Vezmeme-li navíc do úvahy, že tato spalovna vyprodukovaným výkonem nahrazuje částečně výkon černouhelné elektrárny, vyjde najevo, že do ovzduší bude po uvedení do provozu odcházet menší množství polutantů, než je tomu tak v současnosti [23].

Je plánováno, že spalování bude probíhat na dvou linkách, přičemž každá by měla dosahovat hodinového výkonu 12 t odpadu. Ročně by se zde tedy mělo zneškodnit 190 kt SKO. Počítá se s výrobou jak elektrické energie, tak i tepla v podobě páry, popř. horké vody. Systém čištění spalin se bude skládat ze selektivní katalytické redukce  $\text{NO}_x$ , která bude probíhat hned za kotlem, elektrostatického odlučovače, který odstraní naprostou většinu pevných částic a dále z rukávcového tkaninového filtru, který odstraní ze spalin PCDD/F (dioxiny a furany). Posledním článkem systému čištění bude pračka spalin, ve které se dvoustupňovou mokrou vypírkou odstraní kyselé a těžké složky. Celkové uspořádání aparátů je zobrazeno na obr. 13 [9].

Za předpokladu, že nebude výstavba spalovny nijak výrazně pozastavována a vše půjde podle předem daného harmonogramu, by měl zkušební i plný provoz spalovny nastat v roce 2015.



Obr. 13 - Schéma KIC Karviná [9]

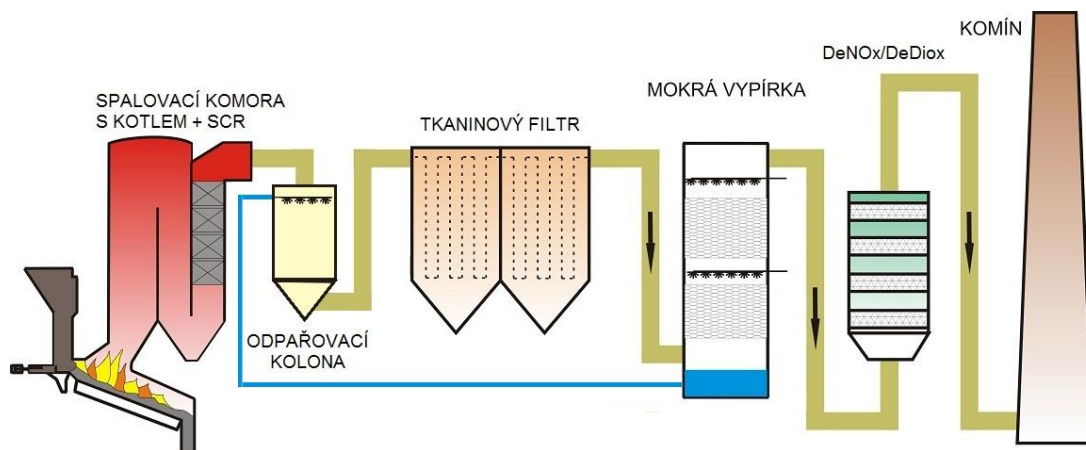
### 3.3.2 ZEVO Chotíkov

Chotíkov, vesnice nedaleko Plzně, byl vybrán jako nejvhodnější lokalita pro umístění další projektované spalovny komunálního odpadu. Pro upřesnění, spalovna bude stát na místě, kde se aktuálně nachází skládka odpadu, která byla především v 90. letech provozována nezabezpečeně, tzn. bez žádného výraznějšího dohledu a řádu. V roce 2004 začaly přípravy celého projektu a v současné době je očekáváno brzké vydání stavebního povolení. Investorem celého projektu je Plzeňská teplárenská, a.s., která je majetkem města Plzně.

Ani tento projekt se pochopitelně nemůže obejít bez velkého zájmu zainteresované veřejnosti. V roce 2009 proběhlo v obci Chotíkov referendum, ve kterém bylo velmi těsně rozhodnuto, že se občané staví kladně k potenciální výstavbě zařízení na energetické využití odpadu. To však žádné z případných obav neutišilo a tak námitky ohledně zplodin v ovzduší, zápachu i zvýšené dopravní frekvence ze strany občanských sdružení, bojujících proti výstavbě spalovny byly zahrnuty do posudku EIA, na jehož rozhodnutí bude přímo závislý krajský úřad a vydání, či případné nevydání stavebního povolení. Ač posudek neodhalil žádné výrazné negativní dopady provozu spalovny na lidské zdraví ani na životní prostředí, aktivisté podezřívají tvůrce posudku za podjaté. Aktuální zprávy o postupu celého projektu mluví o tom, že původně vydané územní rozhodnutí nebylo právoplatné a bylo nutné jej přepracovat a o stavební povolení bylo zažádáno znovu a celá dokumentace ohledně vydání stavebního povolení se dokončuje [24].

Technologie tohoto provozu bude založena na spalování odpadu v jedné lince o kapacitě 15 t odpadu/h, což povede k ročnímu výkonu 95 kt. I v této spalovně se počítá se společnou výrobou elektrické energie a tepla, které bude vedeno do centrálního zásobování teplem města Plzeň, konkrétně sídliště Lochotín. Systém čištění spalin se bude skládat ze selektivní katalytické redukce s nástřikem čpavkové vody do sekundárního spalovacího prostoru, která zneškodňuje oxidy dusíku a PCDD/F, odpařovací kolony, ve které je nastříkována suspenze obsahující kovy a soli zachycené při mokré vypírce, rukávcového filtru na zachycení pevných částic, mokré vypírky na odstranění těžkých kovů a kyselých složek a reaktoru DeNO<sub>x</sub>/DeDiox, kde dojde k odstranění NO<sub>x</sub> a PCDD/F. Celá technologie spalovny je znázorněna na obr. 14 [9] [24].

Stejně jako u karvinské spalovny se předpokládá zkušební provoz v roce 2015 a uvedení do provozu v roce 2016, kdy svojí kapacitou ročně nahradí přibližně 40 kt hnědého uhlí, spalovaného v plzeňské teplárně.



Obr. 14 - Schéma ZEVO Chotíkov [9]

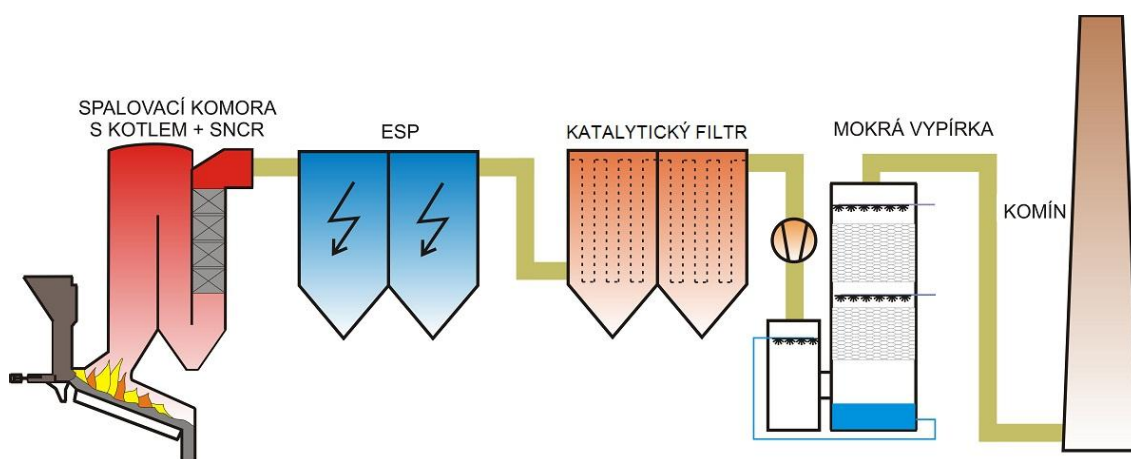
### 3.3.3 EVO Komořany

Posledním z nejpokročilejších projektů je plánovaná výstavba spalovny v Komořanech v okrese Most. Spalovna by měla být situována v průmyslové zóně hned vedle komořanské teplárny. Projekt samotný začal vznikat v roce 2008 a hlavním investorem je soukromá firma United Energy, a.s., která je současně vlastníkem i zmíněné teplárny. V současné chvíli získal projekt povolení od Ministerstva životního prostředí a na spadnutí je též udělení stavebního povolení.

Společným prvkem, se kterým se potýkají všechny nové spalovny, jsou negativní postoje občanských sdružení. A nejen to, je tomu i na Mostecku. Tato oblast se již v současnosti potýká s těžkou smogovou situací a nejen místní obyvatelé mají strach, že přibude-li nový zdroj polutantů, situace se ještě zhorší. Další obavy také panují z důvodu zvýšení dopravní zátěže okolí spalovny. Námitky ekologických organizací však ani v tomto případě neměly takovou váhu, aby zabránily vydání posudku EIA, který stavbu vzhledem k ekologickému dopadu na okolní prostředí povolil. Jedním z důvodů je fakt, že i tato spalovna energeticky využitým odpadem nahradí fosilní paliva spalovaná v teplárně [25].

Technologie spalovny bude založena na spalování v jednom kotli, který hodinově zpracuje 18,75 t odpadu. Roční kapacita je stanovena na 150 kt odpadu. I tento provoz počítá s kogenerační výrobou tj. výrobou elektřiny i tepla. V závislosti na ročním období a potřebách tepla je možné zaměřit se více na výrobu elektřiny nebo páry. Nespornou výhodou této spalovny je již existující horkovodní síť, na kterou se spalovna jednoduše bude po najetí moci napojit. Spalovna bude taktéž využívat společné zdroje vody, zemního plynu a kanalizaci s teplárnou. Systém čištění spalin se skládá ze selektivní nekatalytické redukce  $\text{NO}_x$ , elektrostatického odlučovače, který odstraní tuhé znečišťující látky, katalytického filtru na odstranění PCDD/F a mokré vypírky na odstranění kyselých složek ze spalin. Kompletní schéma komořanské spalovny je znázorněno na obr. 15 [9].

Předpokládané uvedení do provozu komořanské spalovny je podle plánu odhadováno na rok 2015. Energetickým zpracováním 150 kt odpadu ročně by mělo být ušetřeno přibližně 88 kt fosilních paliv, spalovaných v sousední teplárně.



Obr. 15 - Schéma EVO Komořany [9]

### 3.3.4 Další připravované projekty

Zbylé projekty na výstavbu nových zařízení EVO se ještě nenachází v takovém stupni pokročilosti, jako tři výše uvedené, proto budou zmíněny souhrnně. Obecně se tyto projekty nachází ve fázi výběru nejvhodnější lokality, hledání investora, popř. zjišťování potenciálního vlivu na okolní životní prostředí.

V kraji Vysočina bylo na výběr několik lokalit, přičemž se nakonec rozhodovalo mezi Jihlavou a Žďárem nad Sázavou. V Jihlavě by spalovaný odpad nahrazoval zemní plyn a ve Žďáru nad Sázavou hnědé uhlí. V současnosti dochází k postupnému vypracovávání detailnějších plánů a seznamování zástupců měst a obcí s nimi. Jako nejvíce reálná se jeví varianta, že spalovna s kapacitou 150 kt/rok bude vybudována v Jihlavě, přičemž se počítá s počátkem výstavby v roce 2016 [26].

V Olomouckém kraji taktéž dochází k hledání nejvhodnější lokality. Největší šanci na výstavbu spalovny má město Přerov, které disponuje CZT, což z něj dělá velkého kandidáta. Dále zájem o výstavbu spalovny projevila města Mohelnice a Uničov. V současnosti se vypracovává studie proveditelnosti, která by měla mj. rozhodnout i způsob financování spalovny. Proti výstavbě SKO, která by měla mít kapacitu 150 kt/rok se bouří ekologičtí aktivisté a občanská sdružení, která apelují již tak těžkou smogovou situací v Přerově [27].

Zajištění energetického využití odpadu v Pardubickém a Královéhradeckém kraji by mohla spalovna, s jejíž výstavbou se počítalo v Opatovicích nad Labem. Úmysly vybudovat v této lokalitě zařízení EVO byly již kolem roku 2005, bohužel byl celý projekt zamítnut, avšak investor v současné době obnovil myšlenku výstavby spalovny v této lokalitě. Bohužel jednání mezi zainteresovanými městy zatím nepřinesla žádný konkrétní postup [28].



## 4 Technicko-ekonomické modely zařízení EVO

Pod pojmem technicko-ekonomický model (T-E model) si můžeme obecně představit co nejpřesnější simulaci látkových, energetických i finančních toků existujících (provozovaných) nebo plánovaných zařízení. Je samozřejmostí, že je snahou projektanta navrhnout neoptimalněji pracující provoz, což ve výsledku vždy znamená co nejvyšší ekonomický zisk v rámci možností daného projektu. Proto je tvorba relevantních technicko-ekonomických modelů, tak důležitou součástí jakéhokoliv plánovaného projektu nebo hodnocení provozu existujícího zařízení. V této práci se pozornost zaměří na T-E modely pro hodnocení záměru na výstavbu spalovny komunálního odpadu.

Tato práce se doposud zabývala energetickým využitím odpadu v ČR v současnosti i potenciálním rozvojem tohoto konceptu odpadového hospodářství do budoucna. Je patrné, že stávající počet spaloven komunálního odpadu poroste, a je tedy nutné při návrhu nových jednotek získat co neoptimalnější návrhové parametry. Ústav procesního a ekologického inženýrství disponuje obsáhlým modelem, který dokáže vyhodnotit ekonomickou udržitelnost zadaného projektu. Tento komplexní model byl použit např. v roce 2011 při řešení studie zpracované pro Ministerstvo průmyslu a obchodu [1]. Bohužel i přes svoji rozsáhlost má model svoje omezení. A právě tato omezení by vypracovaný model měl brát v potaz, aby bylo následně možné komplexní model rozšířit a zpřesnit na základě T-E modelu, jež bude výstupem z této práce.

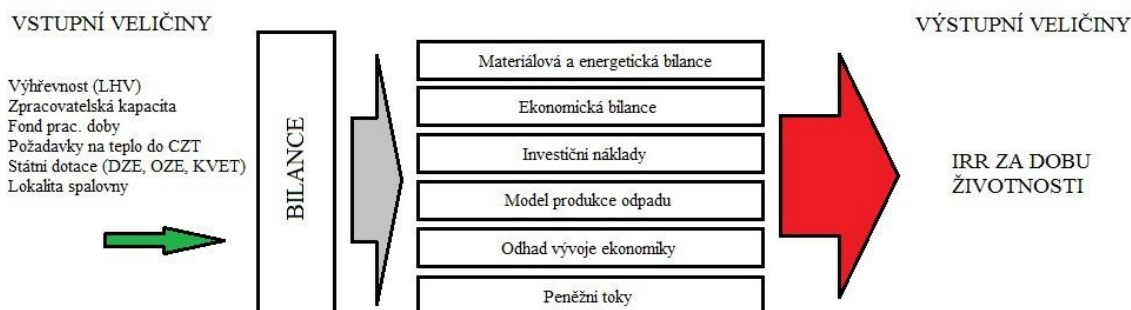
### 4.1 Poskytnutý komplexní model

Zmíněný komplexní model, který byl k účelu porovnání poskytnut Ústavem procesního a ekologického inženýrství je v porovnání s modelem, který bude výstupem z této práce, mnohem komplexnější a zahrnuje i ekonomické faktory, které vypracovaný jednoduchý model neobsahuje.

Základními vstupy do tohoto modelu jsou zpracovatelská kapacita spalovny, procentuální využití tepla, výše investiční dotace, poplatek za zpracování odpadu a jeho růst v následujících letech a státní dotace a bonusy za zpracování odpadu jako obnovitelného, popř. druhotného zdroje. Dalším důležitým faktorem, který ovlivňuje výsledné hodnoty je i volba konkrétního plánovaného projektu, na které závisí požadavky na odběr tepla a s nimi související ceny energií a tepla. Hlavními výstupy z tohoto modelu jsou investiční náklady, tržby a vnitřní výnosové procento za celou životnost projektu (IRR).

Komplexnost modelu spočívá především v objemu dalších výstupních dat. U zvoleného projektu velmi snadno kromě ekonomických parametrů zjistíme i bilanční hodnoty veškerých médií a energií, které se jakkoliv podílí na bezproblémovém chodu spalovny. Jako příklad lze uvést přesné množství vyrobené elektrické energie a vyrobeného tepla včetně vlastní spotřeby, množství vyprodukované páry na výstupu z kotle, spotřebu napájecí vody, výkon kotle, produkci spalín a jiné.

Na druhou stranu, tento model má i přes svoji detailnost několik nevýhod v podobě neměnných hodnot u parametrů, výrazně ovlivňujících ekonomickou bilanci provozu. Přesněji řečeno jsou tyto parametry v celém výpočtu brány jako konstanty a není možná jejich úprava v závislosti na jejich možné změně v průběhu životnosti provozu. Schématicky lze funkčnost modelu naznačit podle obr. 16.



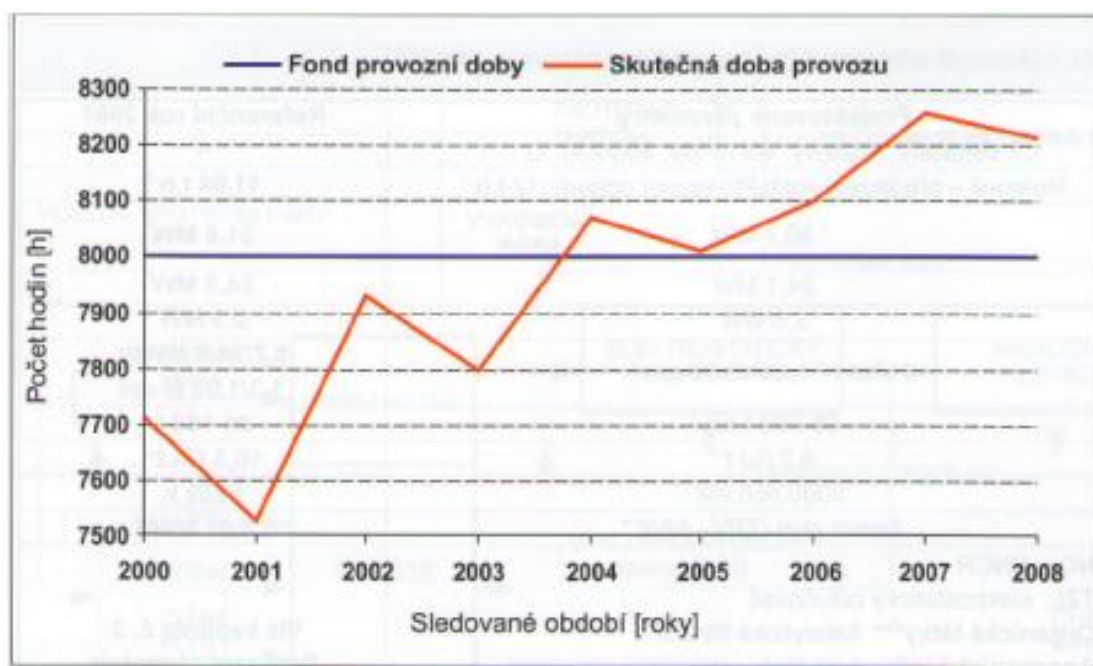
Obr. 16 - Schéma komplexního modelu

Model, jehož sestavení je kostrou této diplomové práce, má za úkol komplexní model dále rozpracovat ve vybraných dílčích bodech a zahrnout proměnné, které v současném modelu není možné měnit. Konkrétně se jedná o tyto parametry:

- výhřevnost odpadu (LHV)
- roční fond pracovní doby ( $t_{\text{fond}}$ )
- počet zpracovatelských linek a jejich vliv na investiční náročnost.

Současný model pracuje s hodnotou výhřevnosti jako s konstantou. Zadaná výhřevnost se uvažuje jako neměnná po celou dobu životnosti (hodnocení) zařízení. Výhřevnost přitom dále ovlivňuje celý bilanční výpočet (výroba páry v kotli, výroba elektřiny na turbíně) a následně i ekonomiku provozu (výnosové položky). Možnost zadat proměnnou výhřevnost je výhodná pro zpřesnění modelů a umožnění simulace vlivu změny výhřevnosti v budoucnu. V kap. 2.2.2 již bylo zmíněno, že výhřevnost odpadu je závislá na celé řadě parametrů. Jedním z nejdůležitějších parametrů je lokalita, která odráží socio-ekonomické vztahy obyvatelstva v dané obci, kterou chápeme jako původce odpadu. Může být tedy značně nepřesné pro různé spalovny pracovat s jednou průměrnou hodnotou. Na druhou stranu je nutné zmínit, že modely resp. databáze, které by plošně monitorovaly výhřevnost směsného komunálního odpadu na území ČR, neexistují.

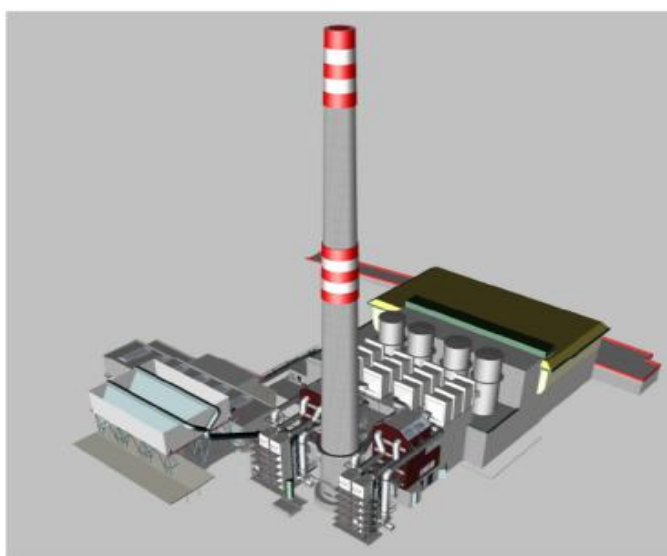
Dalším parametrem, který výrazně ovlivňuje ekonomickou bilanci spalovny je dosažitelný fond pracovní doby ( $t_{\text{fond}}$ ). Obvyklou a v současném modelu pevně danou hodnotou je pracovní fond 8000 hodin ročně. Obdobně jako u výhřevnosti model neumožňuje měnit fond pracovní doby v jednotlivých letech životnosti zařízení a rovněž výstupy bilančních modelů interaktivně nereagují na změnu fondu pracovní doby. Požaduje-li investor od zařízení vyšší zisk, nabízí se zvýšení pracovního fondu jako jeden z řešitelných způsobů. Postupné zvyšování fondu u existující spalovny Termizo a.s. v důsledku zavádění metod zefektivnění provozu a údržby zobrazuje obr. 17.



Obr. 17 - Skutečná doba provozu zařízení Termizo, a.s. Liberec [29]

Bližší problematikou určení ročního pracovního fondu se v této práci ještě budeme zabývat společně s volbou počtu zpracovatelských linek, která s fondem pracovní doby úzce souvisí.

Pod pojmem počet zpracovatelských linek si představme počet termických jednotek na zpracování odpadu, počet systémů na využití páry a počet systémů na čištění spalin. Současný model nedává řešiteli při výběru počtu linek na výběr a automaticky předpokládá výstavbu jednoho spalovacího kotle s jednou turbínou a jedním čištěním spalin. Což především u spaloven s vyšší zpracovatelskou kapacitou nemusí být tou neoptimálnější variantou. Konkrétní případy použití různých konfigurací v provozovaných technologiích EVO jsou ukázány na obr. 18. a obr. 19.



Obr. 18 - Schéma uspořádání 4 linek ZEVO Malešice [30]





Obr. 19 - Uspořádání technologie 2 linek SAKO Brno [31]

Komplexní model sloužil vzhledem k účelům této práce především jako zdroj dat potřebných k výpočtům v ekonomickém modelu (kap. 6.2). V další části práce byl komplexní model použit k určení výše poplatku za zpracování odpadu pro plánované projekty tak, aby bylo dosaženo požadované hodnoty vnitřního výnosového procenta IRR (kap. 6.3).

## 4.2 Parametry modelu

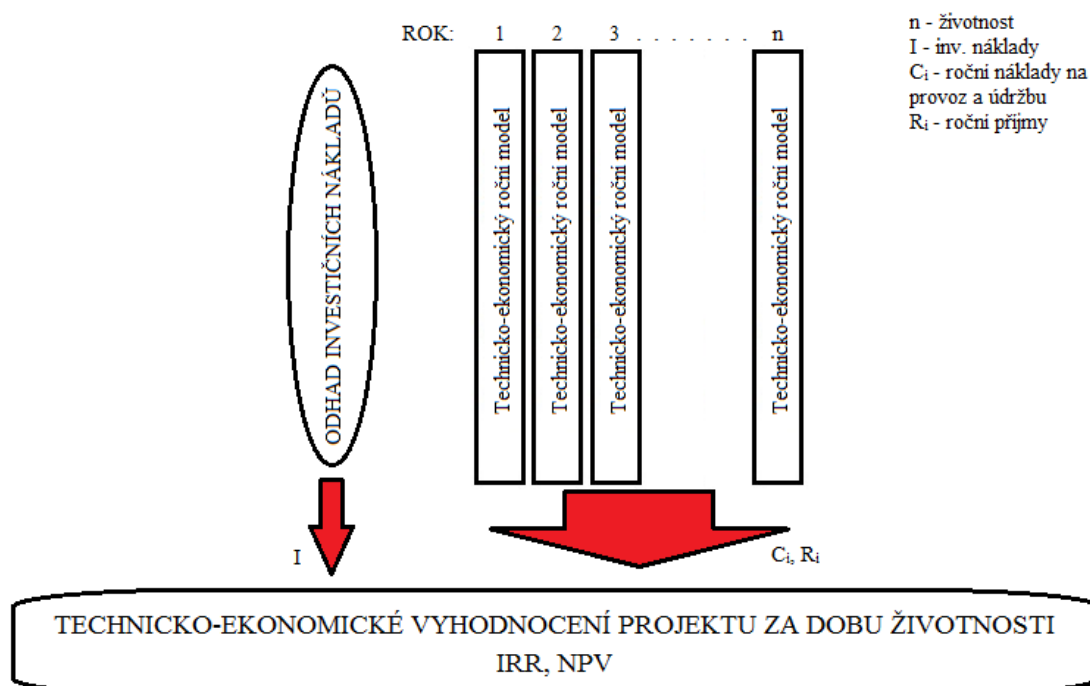
Ač bude model, který bude výstupem této práce, obsahovat některé zjednodušující předpoklady, přesto bude pracovat s množstvím parametrů a dat. V první řadě je tedy třeba vyhodnotit, která z nich budou těmi stěžejními. V případě projektování spalovny komunálního odpadu je hlavním parametrem její velikost, prakticky vyjádřená zpracovatelskou kapacitou (ať už roční nebo hodinovou). Pokud jde o ekonomický návrh, tak je třeba spalovnu navrhnout takovým způsobem, aby se projekt stal ekonomicky zajímavým pro potenciálního investora a zároveň by měly být zajištěny přijatelné náklady na zpracování odpadu. Jejich výše se totiž výrazně promítá do ceny za zpracování odpadu pro obyvatele těch samosprávních celků, které by z hlediska odpadového hospodářství pod danou spalovnu spadaly.

Aby došlo k co nejpřesnějšímu zhodnocení investiční náročnosti projektu, pracuje T-E model s množstvím dalších vstupních parametrů, díky jejichž znalosti, získáme údaje, které by co nejpřesněji měly simulovat reálnou situaci, která nastane po uvedení spalovny do provozu. Mezi tyto bilanční a ekonomické parametry řadíme:

- množství tepla odebraného do sítě CZT
- množství vygenerované elektrické energie, distribuované do sítě
- výkupní cenu tepla a elektrické energie
- investiční náklady pro již realizované projekty
- účinnost jednotlivých zařízení
- státní dotace aj...

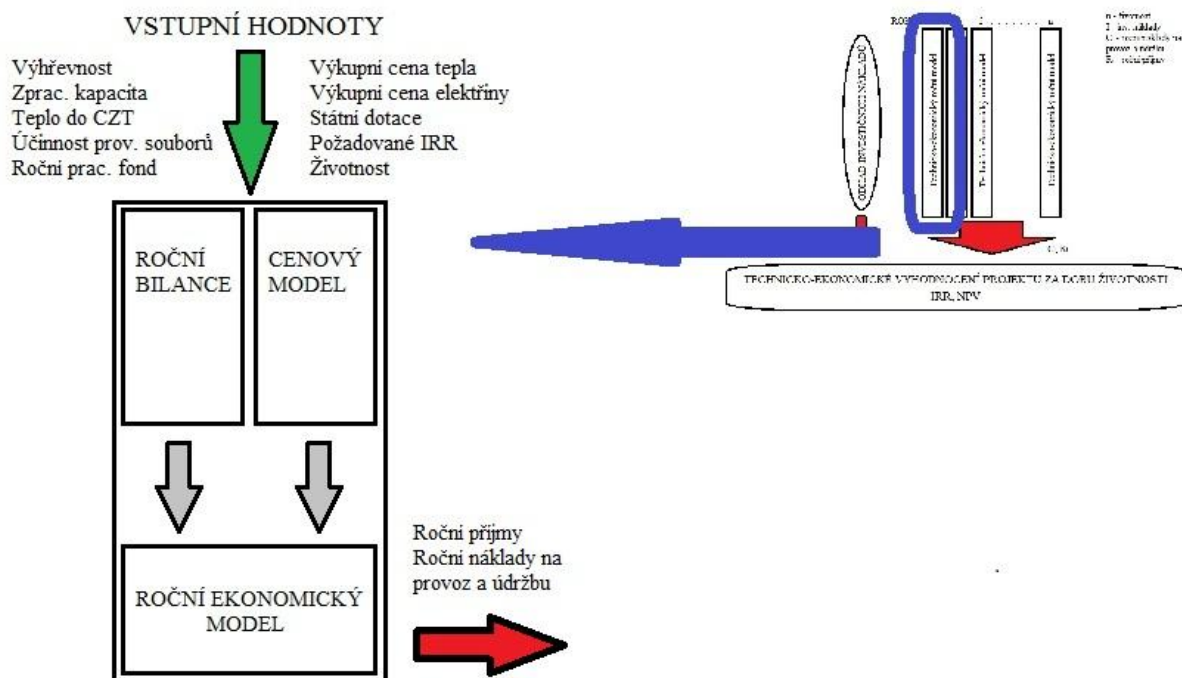
### 4.3 Požadovaná struktura modelu

Technicko-ekonomický model spalovny komunálního odpadu vypracovaný jako součást této práce má za úkol zahrnout možnou změnu výhřevnosti odpadu a ročního pracovního fondu během životnosti spalovny. Navíc by v něm mělo dojít ke zpřesněným odhadům investičních nákladů v závislosti na počtu zpracovatelských linek. Tento model by měl posloužit jako základ pro složitější model, který bude schopen bilancovat provoz spalovny v jednotlivých letech a zároveň za celou dobu životnosti (viz obr. 20).



Obr. 20 - Schéma složitěho T-E modelu pro bilanci po dobu životnosti

Tvorba složitěho modelu, který by technicko-ekonomickou bilanci počítal pro každý rok životnosti spalovny, nebyla náplní této práce. Výstupní T-E model bude prakticky jednou stavební částí plánovaného složitěho modelu z obr. 20. Schéma jedné této stavební části v podobě ročního ekonomického modelu je znázorněno na obr. 21.



Obr. 21 - Schéma ročního ekonomického modelu

Model, jenž bude výstupem z této práce, se bude skládat ze tří základních částí. První částí je model investičních nákladů, který byl vytvořen jako samostatný úkol a pro potřebu T-E modelu z něj byla použita pouze část, ve které se v závislosti na zpracovatelské kapacitě a dalších parametrech (počet linek, procentuální rozložení ceny do jednotlivých provozních souborů, rok výstavby aj.), dopočítají investiční náklady na výstavbu zvoleného zařízení EVO. Jak již bylo zmíněno, model investičních nákladů byl vytvořen jako samostatná úloha, a i z tohoto důvodu bude jeho detailnější popis součástí jedné z následujících kapitol (kap. 6).

Druhou částí technicko-ekonomického modelu tvoří bilanční výpočet. Výstupní bilanční data se používají při ekonomickém zhodnocení projektu v poslední části T-E modelu. I bilanční výpočet byl vypracován samostatně a následně byla jeho část použita v tomto komplexním modelu. Bilanční výpočet sestavený v prostředí Visual Basic for Applications (VBA) poskytne řešiteli potřebné údaje o produkci tepla a elektrické energie v závislosti na zpracovatelské kapacitě, parametrech spalovací linky i systému na využití tepla v podobě páry a aktuální potřebě tepla v síti CZT. Především tato část modelu pracuje se zjednodušujícími předpoklady pro fungování spalovacích linek. Tyto předpoklady budou, stejně jako detailní popis výpočtu, představeny v samostatné kapitole, věnované bilančnímu modelu (kap. 5).

Samotné technicko-ekonomické zhodnocení vybraného projektu na základě vstupních hodnot a výpočtů, provedených ve zbylých dvou částech modelu tvoří poslední úsek T-E modelu. V části technicko-ekonomického zhodnocení budeme moci porovnat ekonomickou stránku výstavby a provozu spalovny za použití jednoduchého ekonomického modelu založeného na vztahu vztahu:

$$\alpha * I + \sum C = \sum R, \text{ který udává roční ekonomickou bilanci provozu, kde} \quad (1)$$

$\alpha$  značí tzv. Capital Recovery Factor,

I jsou investiční náklady udávány v tis. Kč, přičemž odhadu investičních nákladů se detailněji věnuje kap. 6.1.3,

C jsou náklady na provoz a údržbu, udávány v tis. Kč/rok,

R značí roční výnos spalovny v tis. Kč/rok, jenž bude určen na základě výstupů z bilančního modelu a známé ceny [32].

Capital Recovery Factor  $\alpha$  je veličina, pomocí které lze rozdělit jednorázovou sumu (např. investiční náklady) na stejně velké dílčí roční platby. Ve výpočtu  $\alpha$  je zahrnuta úroková míra, kterou v našem konkrétním případě nahrazujeme požadovaným vnitřním výnosovým procentem (IRR). Počet ročních plateb je dán plánovanou životností posuzované jednotky, která se mj. vyskytuje i ve vzorci pro výpočet  $\alpha$ .

$$\alpha = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}, \text{ kde} \quad (2)$$

i značí úrokovou míru v % a

n značí životnost jednotky, která je ve výpočtech uvažována jako 25 let [33].

## 4.4 Požadavky na funkci modelu

Technicko-ekonomický model pracuje na principu porovnání ročních ekonomických příjmů a výdajů při provozu spalovny. Do výdajů započítáváme příslušnou část investičních nákladů, vyjádřenou součinitelem  $\alpha$  a dále náklady na provoz a údržbu, které jsou funkcí investičních nákladů. Do ročních zisků zahrneme finance inkasované za prodej elektrické energie a tepla, dále finance inkasované za zpracování odpadu a také státní dotace.

Celý model by měl být sestaven takovým způsobem, aby bylo možné v co nejkratším čase rozhodnout o ekonomické atraktivitě zvoleného projektu. Zároveň by měl model do svých bilančních výpočtů jako proměnné zahrnout parametry, které v současném modelu nelze uživatelsky měnit (výhřevnost, pracovní fond, počet zpracovatelských linek). Díky možnosti upravovat velké množství vstupních parametrů by se tento model i přes některá zjednodušení měl dokázat přizpůsobit projektům s různými vlastnostmi a požadavky, avšak generovat co nejpřesnější bilanční a ekonomická data. Konkrétně bychom měli získat představu o následujících parametrech spalovny komunálního odpadu a jejich vzájemných vlivech na ekonomiku spalovny:

- zpracovatelská kapacita (roční i hodinová)
- investiční náklady (jak na celou spalovnu, tak i na jednotlivé provozní jednotky)
- množství vyrobené elektrické energie a tepla (a příjmy z jejich prodeje)
- parametry jednotlivých provozních jednotek (spalovací část - kotel, turbíny)
- provozní náklady (včetně údržby a vlastní spotřeby tepla v podobě páry)

- počet zpracovatelských linek
- vnitřní výnosové procento IRR (požadovaný procentuální zisk spalovny).

## 5 Bilanční výpočet typické technologie

Jedním z pilířů této práce je bilanční výpočet typické technologie spalovny komunálního odpadu. Bilanční výpočet bude proveden v programu Microsoft Excel 2007, přesněji v prostředí Visual Basic for Applications (VBA), které je součástí programu Microsoft Excel.

### 5.1 Popis zvolené technologie

Technologie spalovny byla zvolena na základě současných technologií a poznatků z praxe. Bilancovaná spalovna se bude stejně jako všechny současné spalovny skládat ze tří základních částí – systému pro příjem a spalování odpadu, systému na využití vyrobeného tepla a systému na čištění spalin.

Po příjezdu do areálu spalovny je odpad zvážen, zkontrolován na radioaktivitu a následně přes drtič umístěn do skladovacího bunkru. Zde zůstává po dobu řádově 10 – 15 dnů, během kterých dochází k biologickým procesům, které zvyšují jeho výhřevnost. Po celou tuto dobu je odpad promícháván pohyblivými rameny, díky čemuž je odpad, přiváděný na spalovací rošt více homogenní a výhřevnost kolísá v menším intervalu. Po přemístění na spalovací rošt je odpad vystaven teplotě minimálně 850 °C po dobu minimálně dvou vteřin, což jsou zákonem dané hodnoty. K co nejdokonalejšímu spalování napomáhá předehřátý primární vzduch, který je přiváděn do podroštové oblasti z oblasti bunkru, což zabraňuje šíření zápachu při uskladnění odpadu. K dohořívání menších částecí, dochází i v prostoru nad roštěm, tedy v sekundární spalovací komoře, kam je taktéž přiváděn spalovací vzduch, který je navíc doplněn recyklem spalin. Vyhořelý odpad, nazývaný struska je roštěm doveden do zásobníku na strusku, kde jsou po úplném vychladnutí pomocí magnetu odděleny kovové fragmenty a zbylý materiál je dále prodáván nejčastěji do stavebnictví.

Vzniklé spaliny putují do HRSG, kde předají teplo napájecí vodě, což má za následek vznik vodní páry o parametrech 4 MPa a 420 °C. Určité množství páry bude následně odebíráno a využito přímo v provozu spalovny k předehřevu médií. K využití tepla přivedeného touto vodní párou bude v technologii použita kondenzační odběrová turbína, která umožňuje společnou výrobu tepla a elektrické energie. Část vyrobené elektřiny bude použita na vlastní spotřebu provozu a zbytek bude distribuován do sítě. Teplo v podobě páry bude částečně použito v technologii provozu na ohřev primárního vzduchu a zbytek bude veden do sítě CZT.

Systém čištění spalin se bude sestávat ze čtyř základních stupňů. Prvním je selektivní nekatalytická redukce oxidů dusíku, která bude probíhat v sekundární spalovací komoře. Dalším stupněm je elektrostatický odlučovač, který zachytí tuhé částice vyskytující se ve spalinách. Třetím stupněm je použití technologie REMEDIA D/F<sup>TM</sup>, pomocí které dojde k odstranění dioxinů a furanů. Posledním stupněm tohoto systému čištění spalin je mokrá vypírka spalin, která spaliny zbaví kyselých složek. Celá takto uspořádaná technologie byla zvolena záměrně shodná s tou, která je používána ve spalovně Termizo Liberec (viz obr. 11). Důvodem k tomuto kroku jsou již předem známé provozní podmínky a požadavky, které plynou z reálného provozu tohoto systému. Hodnoty dosazované do bilančního modelu by se tedy měly s velkou přesností blížit hodnotám provozním.



## 5.2 Přístup k modelování bilancí technologie

Proč je vůbec při projektování spalovny komunálního odpadu tak nesmírně důležitý bilanční výpočet? V prvotních fázích projektu bývá často jedním z mála známých veličin roční zpracovatelská kapacita spalovny, která je závislá na produkci odpadu v lokalitě, v rámci které daná spalovna zpracovává odpad. Úkolem projektanta je, aby na základě známé kapacity a několika málo daných veličin (výhřevnost odpadu, dosažitelné účinnosti jednotlivých částí spalovny, termofyzikální předpoklady) dokázal co nejpřesněji namodelovat toky látek a energií v klíčových uzlech celého procesu využití odpadu. Se znalostí látkové a energetické bilance v procesu termického zpracování odpadu pak již úzce souvisí následný návrh jednotlivých procesních aparátů, které budou společně tvořit celou spalovnu. Celý návrh je samozřejmě nejvíce ovlivněn ekonomickými požadavky a díky znalosti bilancí navrhujeme jednotlivé procesní jednotky tak, aby jejich pořízení, provoz, údržba, ale i provozní výkony vyšly z ekonomického pohledu jako nejoptimálnější řešení.

Data, která jsou výsledky bilančního výpočtu, nám přibližují fungování celé spalovny. Provedeme-li tedy bilanční výpočty pro několik různých návrhů, dostaneme možnost porovnat konkrétní hodnoty některých závislostí. Jako nejvýmluvnější závislost si můžeme představit vzájemný vliv těchto veličin:

- energetický vstup odpadem daný součinem zpracovaného množství a výhřevností
- množství vyrobené páry v kotli korespondující s účinností kotle
- exportované teplo do centrálního zásobování teplem (CZT) v závislosti na požadavcích odběratele
- exportovaná elektřina korespondující dodávce tepla
- množství vyprodukovaných spalin.

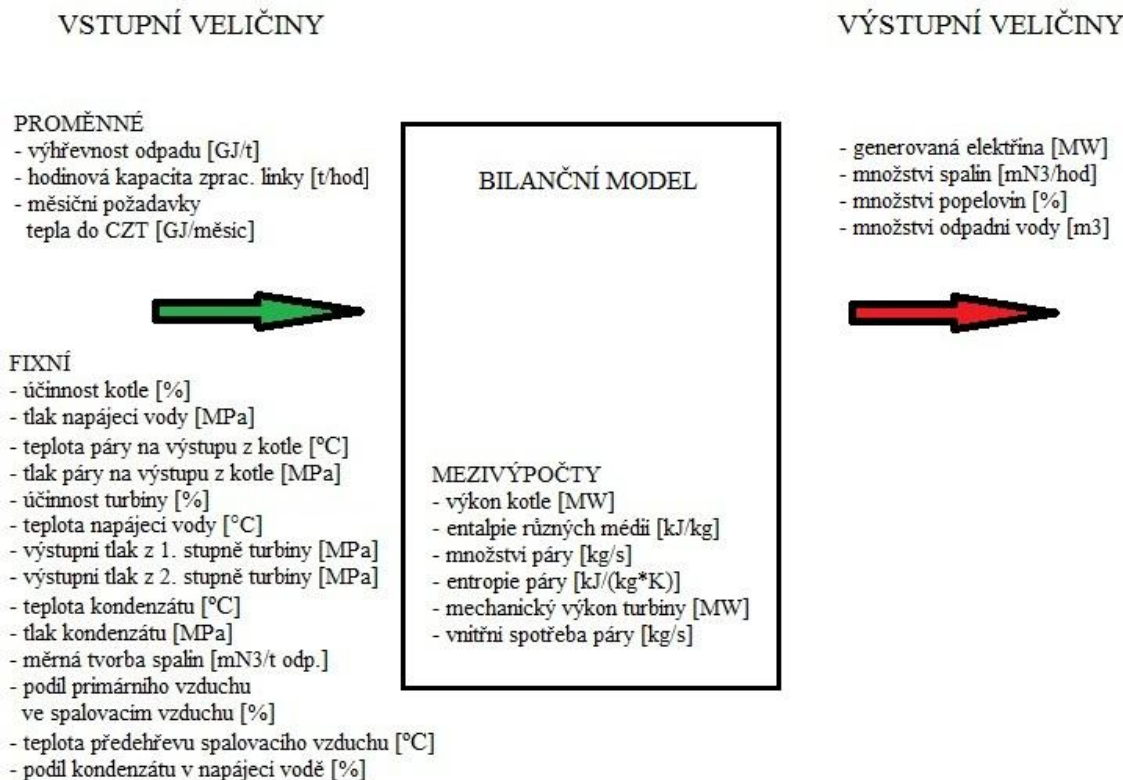
Na principu závislosti těchto veličin prakticky funguje celý bilanční výpočet. Samozřejmě v něm figuruje i množství dalších veličin, které však z hlediska výpočtu nejsou tak důležité, a je proto možné jejich vliv zjednodušovat. Bližší představení těchto veličin a míra jejich zjednodušování budou součástí jedné z následujících podkapitol. Ale zpět k nejdůležitějším veličinám. Množství vyrobené páry je přímo závislé na množství a výhřevnosti odpadu, které před začátkem výpočtu známe. Dalším známým parametrem ve výpočtu je požadavek na exportované teplo. V praxi je běžné, že provozovatel spalovny uzavírá dlouhodobé smlouvy s odběrateli tepla, ve kterých jsou dány přesné požadavky na množství exportovaného tepla v jednotlivých měsících v roce. Pára, která není požadována k odběru do sítě CZT je vedena na druhý stupeň turbíny, ve kterém je z ní generována elektrická energie, dále distribuovaná do rozvodné sítě. Z ekonomického pohledu nás tedy zajímá produkce tepla a elektrické energie, ale oba tyto produkty jsou závislé na množství vyprodukované páry v kotli a tím pádem i na spalovaném odpadu.

## 5.3 Struktura a popis výpočtu

Díky představení nejvýznamnějších závislostí v bilančním výpočtu byly mimochodem zmíněny i dva vstupní parametry (odpad a teplo do CZT) a dvě vypočtené bilanční hodnoty



(pára z kotle a vyrobená elektřina). Tyto veličiny jsou sice těmi nejdůležitějšími, ale z hlediska co nejpresnějšího představení výpočtu budou uvedeny i další veličiny, vyskytující se v bilančním výpočtu. Přehled těchto veličin, společně s jejich uspořádáním je uveden na obr. 22.



Obr. 22 - Schéma bilančního výpočtu

Z obr. 22 je patrné, že veličiny jsou rozděleny podle toho, zda jde o vstupní, nebo výstupní parametry. Obě tyto skupiny jsou dále dělitelné. Vstupní parametry dělíme na fixní a proměnné. Proměnný parametr je specifikován tím, že uživatel má možnost libovolně měnit jeho hodnotu. Zatímco hodnoty fixních parametrů jsou pevně nastaveny ve zdrojovém kódu a jejich neodborná změna může mít za následek ohrožení správnosti výsledných hodnot. V závislosti na množství fixních a proměnných parametrů můžeme zvyšovat (popř. snižovat) obtížnost bilančního modelu. Tato problematika bude detailněji posouzena v kap. 5.4.

Výstupy jsou rozděleny taktéž do dvou skupin, přičemž do první skupiny jsou řazeny tzv. mezivýpočty, které vzniknou jako výsledky, ale slouží dále jako vstupy do dalších částí výpočtu (např. pára vyprodukovaná v kotli, parametry páry v kotli a na turbínách). Druhou skupinou rozumíme požadované výstupy, tj. hodnoty, které z bilančního výpočtu chceme získat (v našem případě je to množství generované elektrické energie).

Výpočtový postup, který byl v prostředí VBA sestaven bude součástí přílohy této práce. Tento postup tvoří výhradně systém lineárních rovnic, jejichž řešení nám poskytne dostatečně přesné hodnoty výstupních veličin. Není tedy nutné používat složitější matematické operace (řešení soustavy rovnic, iterace), které bychom potřebovali k výpočtu za předpokladu vyššího počtu proměnných vstupních parametrů [34].

## 5.4 Možné úrovně řešení

Při popisu vstupních veličin bylo uvedeno rozdělení do dvou skupin podle toho, zda jde hodnotu vstupní veličiny uživatelsky měnit, nebo nikoliv. V závislosti na množství fixních a proměnných vstupních veličin můžeme určit složitost bilančního modelu. V praxi to znamená, že kdybychom chtěli dokonale simulovat děje na všech částech provozní linky, všechny vstupní hodnoty by byly proměnné. Sestavení tohoto modelu by však bylo velmi obtížné, a proto mohou být v rámci výpočtu zavedené určité předpoklady, díky kterým se některé z vstupních parametrů stávají fixními.

Při sestavování bilančního modelu se často postupuje tak, že původní jednoduchý model postupně zesložitujeme tím, že z fixních vstupních parametrů děláme proměnné, popř. tyto parametry získáme mezivýpočtem. Prvotní výpočet je tedy tvořen pomocí jednoduchého modelu, kdy počet fixních vstupních veličin podstatně převyšuje počet proměnných vstupních veličin.

Vstupní parametr		Mezivýpočet
proměnný	fixní	
Výhřevnost odpadu (LHV) Hodinová zpracovatelská kapacita Měsíční požadavky na odběr tepla	Účinnost kotle Účinnost parní odběrové turbíny Parametry napájecí vody, páry, kondenzátu, spalovacího vzduchu (teplota, tlak) Vnitřní spotřeba páry Vnitřní spotřeba elektřiny Podíl kondenzátu v napájecí vodě	Výkon kotle Množství páry z kotle Mechanický výkon turbíny

Tab. 12 - Rozdělení parametrů na počátku bilančního výpočtu

Z tab. 12 je patrné, že při vysokém zjednodušení modelu zavádíme relativně velké množství předpokladů, čehož plyne vyšší množství fixních proměnných. Přesto i výsledné hodnoty z tohoto modelu mohou mít dobrou vypovídací hodnotu o toku látek a energií při spalovacím procesu, jelikož uvedené předpoklady jsou uvedeny na základě zkušeností z reálného provozu. Hodnota fixních vstupních parametrů by se tedy neměla diametrálně lišit od hodnot ve skutečném provozu. Chceme-li však dosáhnout vyšší přesnosti výstupních hodnot, je třeba zrušit některé z předpokladů, čímž snížíme počet fixních proměnných a celkově zpřesníme výpočet. Možné výsledné rozvrstvení parametrů po úpravě modelu ukazuje tab. 13.

Vstupní parametr		Mezivýpočet
proměnný	fixní	
Výhřevnost odpadu (LHV) Hodinová zpracovatelská kapacita Měsíční požadavky na odběr tepla	Parametry napájecí vody, páry, kondenzátu, spalovacího vzduchu (teplota, tlak) Podíl kondenzátu v napájecí vodě Vnitřní spotřeba elektřiny	Výkon kotle Množství páry z kotle Mechanický výkon turbíny <i>Vnitřní spotřeba páry</i> <i>Účinnost kotle</i> <i>Účinnost parní odběrové turbíny</i>

Tab. 13 - Rozdělení parametrů po úpravě bilančního výpočtu

Jak je z tab. 13 patrné, prvním zrušeným předpokladem bylo množství vodní páry spotřebované ve vlastní technologii spalovny. Konstantní hodnotu páry spotřebované ve vlastní technologii by nyní nahrazoval výpočet tepla potřebného pro chod technologie, které by následně bylo převedeno na množství páry. Dalším ze zrušených předpokladů může být konstantní účinnost některého z aparátů. V našem konkrétním případě se bavíme o účinnosti kotle a turbíny. Obě tyto hodnoty jsou ve skutečném provozu závislé na aktuálních výkyvech hodnot vlastností vstupních médií (výchřevnost odpadu jdoucího do kotle, parametry páry jdoucí na turbínu). Pro přesný výpočet těchto hodnot bývá často nutné sestavit aproximační funkci, která změnu účinnosti aparátu v závislosti na výkyvech hodnot vstupních médií co nejpřesněji vyjádří [34]. Avšak i přes zavedená zjednodušení by sledovaný model obsahoval ještě dostatečné množství fixních proměnných a v případě, že by bylo nutné výpočet dále zpřesňovat, bychom musely zrušit některé ze zbylých předpokladů.

Při vypracovávání bilančního modelu v rámci této práce bylo postupováno podobným způsobem, což znamená, že původní výpočet zahrnoval větší množství fixních proměnných (viz tab. 12). Následně byl zpřesněn tím, že vnitřní spotřeba páry přestala být konstantně zadanou veličinou, ale její hodnota byla v závislosti na spotřebě tepla v technologii dopočítána. Vzhledem k faktu, že tento bilanční model slouží v rámci práce pouze ke zjištění množství produkovaných veličin, vyhovoval co do složitosti v tomto stavu zadání diplomové práce. Byl-li by vznesen požadavek na vyšší přesnou výstupních hodnot, bylo by nutné v bilančním modelu zrušit některý z dalších předpokladů.

## 6 Ekonomický model

Ekonomický model hraje při projektování výstavby jakéhokoliv výrobního podniku, v našem případě spalovny komunálního odpadu, velmi důležitou roli. Jsou to totiž především ekonomické aspekty, které rozhodují o tom, zda bude po případné výstavbě podnik schopen pracovat tak, aby příjmy plynoucími ze svého provozu byl schopen celý projekt výstavby zafinancovat a zároveň vykazovat předem plánovaný zisk.

### 6.1 Vlastní ekonomický model

K potřebě ekonomické bilance pro tuto diplomovou práci byl autorem sestaven jednoduchý ekonomický model v prostředí Microsoft Excel. Výstupy z tohoto modelu jsou dále využívány v komplexním technicko-ekonomickém modelu. Hodnoty získané z tohoto jednoduchého modelu budou následně porovnány s hodnotami, získanými z externích zdrojů. Na základě porovnání bude možné rozhodnout, zda ekonomický model poskytuje výstupy, jejichž hodnoty jsou blízké hodnotám reálným. Vytvořený model se skládá ze dvou částí, přičemž první z nich se zabývá odhadem investičních nákladů na výstavbu spalovny komunálního odpadu a jejich porovnání s hodnotami z praxe. Druhá část výpočtu obsahuje jednoduchou roční ekonomickou bilanci, sestavenou na základě hodnot získaných z modelu investičních nákladů a komplexního modelu.

#### 6.1.1 Základní teorie

Již v předešlých kapitolách byly zmíněny některé pojmy, které svojí podstatou spadají pod ekonomickou stránku provozu spalovny komunálního odpadu. Nejdůležitější z těchto pojmů, které se navíc dále používají v ekonomickém modelu, budou v této kapitole podrobněji představeny.

Pojem investice (popř. investiční náklady) byl v práci opakován již několikrát. Jde o finanční kapitál, který musí být vynaložen na realizaci plánovaného projektu. Dalším z používaných pojmů jsou příjmy. Příjmem rozumíme finanční částky, které podnik obdrží od odběratele jako protiváhu za svoje výrobky (popř. služby). V našem konkrétním případě tvoří příjmy spalovny finance za zpracování odpadu, prodej tepla a elektrické energie. Třetím ze základních pojmů jsou výdaje. Výdaji rozumíme náklady spojené s každodenním provozem podniku. Může jít o náklady na údržbu, do kterých započítáváme náklady spojené s revizními kontrolami nebo nákupem a výměnou jednotlivých komponent. Do výdajů dále počítáme náklady na provoz pracovní linky, čímž rozumíme náklady na spotřebovanou energii a na udržování systému na čištění spalin v předepsané kvalitě, finance potřebné pro nákup surovin a v neposlední řadě i mzdy pro zaměstnance. Pro zařízení EVO lze celkové provozní výdaje za dobu životnosti odhadnout pomocí vztahu:

$$C = 0,28 * I, \text{ kde} \tag{3}$$

C udává výdaje v Kč a I značí investiční náklady v Kč [35] [36].

Další z uvedených pojmů se již budou vztahovat spíše k samotnému popisu hospodaření podniku. Návratnost (ROI z angl. Return on Investment) interpretuje podíl finančních zisků (popř. ztrát) vůči velikosti investice. Matematický zápis si můžeme představit následovně:

$$ROI = \frac{\text{celkové příjmy} - \text{celkové náklady}}{\text{celkové náklady}}, \quad (4)$$

kdy do celkových nákladů zahrnujeme jak investiční náklady, tak výdaje na provoz a údržbu.

Vnitřní výnosové procento (IRR z angl. Internal Rate of Return) udává interní návratnost investic nebo úrokovou míru, která slouží k dosažení nulové čisté současné hodnoty (NPV z angl. Net Present Value) u posuzované investice. Jednodušeji řečeno si pod IRR můžeme představit takovou výšku úroku, při které by podnik dlouhodobě nevykazoval zisky ani ztráty. V našem konkrétním příkladu ekonomického modelu spaloven udává IRR investorem požadovaný procentuální zisk vzhledem k výši poskytnuté investice. K zajištění ekonomické atraktivity pro potencionálního investora je snahou projektantů dosáhnout minimální hodnoty IRR dle požadavků investora [37]. V oblasti energetiky resp. spalování odpadů bylo IRR odhadnuto na cca 11% [1].

Výše zmíněný pojem čistá současná hodnota investice NPV si můžeme představit jako veličinu, která udává současnou hodnotu investice při uvažování peněžních toků v budoucnosti, úrokové sazby a počátečních nákladů [37].

## 6.1.2 Motivace

Jedním z důvodů k vytvoření ekonomického modelu byla rozvaha nad výhodností použití více zpracovatelských linek u zařízení EVO s vyšší zpracovatelskou kapacitou. Při rozhodování o návrhu počtu zpracovatelských linek hraje roli množství různých aspektů. V ekonomickém modelu budou hlavními parametry pouze investiční náklady a fond pracovní doby, ale z globálního pohledu je nutné zahrnout i další okolnosti. Bližší pohled do celé problematiky z ekonomického hlediska nám nabídne sestavený model, proto se nyní zaměříme na další aspekty, které nelze tak jednoduše zahrnout do ekonomického výpočtu, ale přesto rozhodování o počtu linek ovlivňují. Výhodou provozu v jedné lince jsou samozřejmě nižší investiční náklady než u vyššího počtu linek. Naopak více pracujících linek by mělo zajistit plynulejší chod zařízení, vyšší fond pracovní doby, a tedy i vyšší provozní příjmy. Jako důkaz si nyní navoďme jednoduchou modelovou situaci, při které je nutné z důvodu poruchy na kotli provést jeho odstávku a vzniklou závadu opravit. Plynulost provozu s více linkami je zajištěna, jelikož provoz stále pracuje, pouze jen se sníženým výkonem. Ztráty nejsou tak vysoké jako u spalovny s jednou linkou, která v případě poruchy jedné provozní části musí odstavit a následně uvádět do provozu celou technologii. Tím pádem samozřejmě dochází ke ztrátám i z důvodu nižších příjmů za export tepla a elektřiny. Je poté na uvážení projektanta, aby správně určil míru důležitosti jednotlivých aspektů a následně zvolil ekonomicky nejoptimálnější variantu. Výše popsaná úloha bude řešena podle následujícího postupu:

- odhad investičních nákladů pro zvolenou konfiguraci spalovny (počet linek) viz kap. 6.1.3
- vyčíslení provozních ekonomických efektů (příjmy, výdaje) vyplývající z různých konfigurací viz kap. 6.2.

### 6.1.3 Model odhadu investičních nákladů na technologii EVO

Základní model odhadu investičních nákladů platný pro celou řadu technologií a procesů vychází celý z obecného vztahu, který vyjadřuje, že měrné investice klesají s rostoucí kapacitou:

$$I_2 = I_1 * \left( \frac{Cap_2}{Cap_1} \right)^x, \text{ kde} \quad (5)$$

$I$  značí výši investice v Kč,

$Cap$  zpracovatelskou kapacitu a

$x$  koeficient mocninné funkce, který zohledňuje pokles měrných nákladů s ohledem na rostoucí zpracovatelskou kapacitu. Dolní index odlišuje referenční a plánovaný projekt (1 - referenční projekt, 2 – plánovaný projekt) [32].

U zpracovatelské kapacity není záměrně uvedena jednotka, protože nyní je třeba se zamyslet nad jejím nejvhodnějším vyjádřením. Pro porovnání zpracovatelské kapacity dvou spaloven nám nejlépe poslouží jednotka kt/rok. Srovnáváme-li roční kapacity, neznáme vždy vnitřní uspořádání spalovny, na kterém ale roční zpracovatelská kapacita závisí podle vztahu:

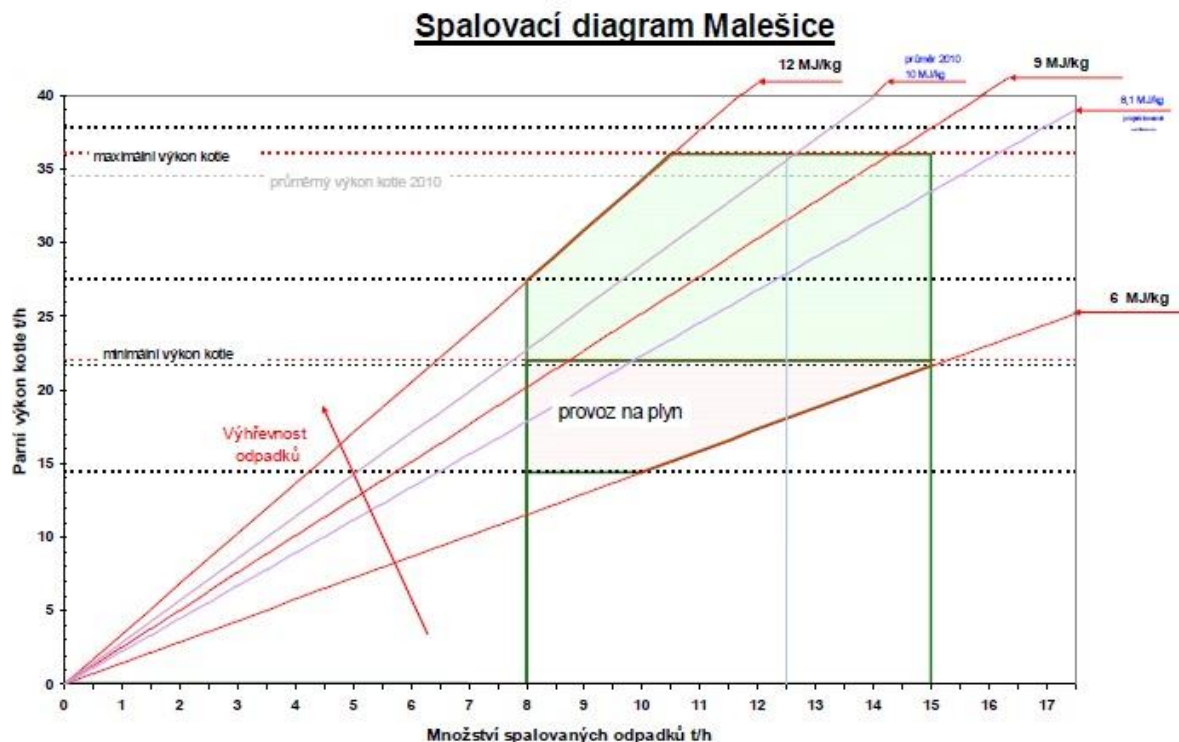
$$Cap_{roční} = \sum Cap_{hod} * t_{fond}, \text{ kde} \quad (6)$$

$$\sum Cap_{hod} = Cap_{1,hod} + Cap_{2,hod} + \dots + Cap_{n,hod}, \text{ kde} \quad (7)$$

$Cap_{1,hod}, \dots, Cap_{n,hod}$  značí jednotlivé hodinové zpracovatelské kapacity v tunách pro každou z  $n$  linek. Roční pracovní fond se udává v hodinách a jako jeho dosažitelná hodnota se často pro technologie EVO udává 8000 h/rok. Tato hodnota je taktéž výchozí pro komplexní výchozí model poskytnutý Ústavem procesního a ekologického inženýrství. Fakt, že je jako nedostatek tohoto modelu brána nemožnost pracovní fond upravovat, přímo vede k zamyšlení ohledně případné úpravy hodnoty pracovního fondu v závislosti na konkrétních konfiguracích spaloven. Již bylo zmíněno, že technologie EVO s více zpracovatelskými linkami, budou moci pracovat plynuleji a je tedy na místě předpokládat, že jejich pracovní fond překročí hodnotu 8000 hodin, důsledkem čehož dojde k nárůstu roční zpracovatelské kapacity (viz rovnice (6)).

A dále se už dostáváme ke kapacitě hodinové, udávané v tunách za hodinu (t/h). Hodnota hodinové zpracovatelské kapacity bývá velmi často jedním z nejdůležitějších provozních parametrů při návrhu i provozu zařízení EVO. Zároveň se stává často vztažnou jednotkou, v závislosti na níž určujeme další parametry spalovny (měrné investice [mil. Kč/(t/h)], tepelný výkon roštu – viz. obr. 23 aj.)



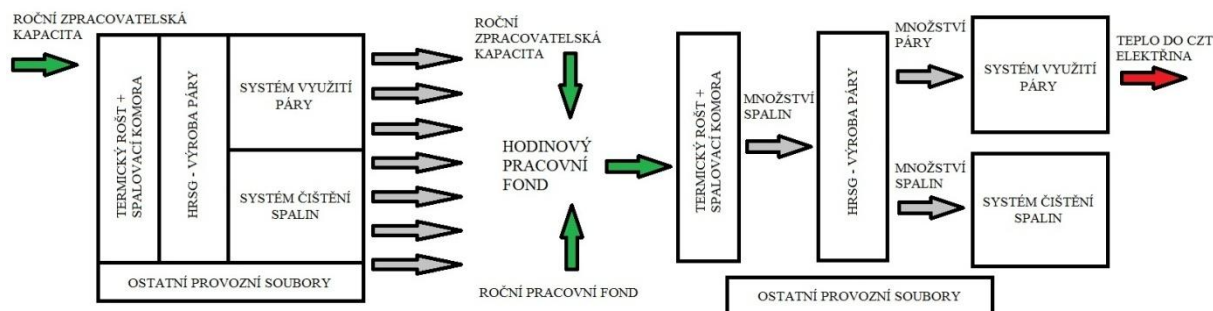


Obr. 23 - Návrhový diagram roštu (ZEVO Malešice) [38]

Hodnota hodinové zpracovatelské kapacity je závislá pouze na zvolené technologii, na rozdíl od kapacity roční, která je závislá na ročním pracovním fondu, který může být, jak jsme právě ukázaly, proměnný. Z toho vyplývá, že pro výpočet odhadu investičních nákladů bychom měli vycházet z kapacity udávané v t/h, která nám poskytne přesnější pohled na celou technologii. Z důvodu co nejpřesnější simulace skutečného procesu bude ve výstupech z ekonomického modelu roční zpracovatelská kapacita nahrazena (viz obr. 24):

- výkonem roštu pro termickou část
- parním výkonem kotle resp. množstvím páry vedené na turbínu pro systém využití tepla
- množstvím vzniklých spalin.





Obr. 24 - Nejdůležitější provozní parametry a jejich vztažné jednotky

Jak již bylo řečeno, rovnice (5) udává vztah pro výpočet odhadu investičních nákladů. Vyskytují se v ní však tři referenční proměnné (kapacita a investiční náklady referenční spalovny a koeficienty  $x$  pro jednotlivé provozní soubory), na jejichž hodnotách je výsledný odhad závislý. Tyto hodnoty musely být do modelu doplněny z dostupné literatury [32]. Obecně se můžeme setkat s více prameny, které se různými metodami snaží co nejpřesněji odhadnout možné investiční náklady do zařízení EVO. Konkrétně můžeme jmenovat:

1. vztah, dále uváděný jako model 1 (M1)

$$I = 15\,797 * P^{0,82}, \text{ kde} \quad (8)$$

$I$  značí investiční náklady v EUR a

$P$  značí výkon kotle v kW [35].

2. vztah, dále uváděný jako model 2 (M2)

$$I_L = I_S * \left( \frac{P_L}{P_S} \right)^{0,75}, \text{ kde} \quad (9)$$

$I$  značí investiční náklady v Kč a

$P$  značí spalovací výkon kotle v kW a

indexy  $L$  a  $S$  odlišují porovnávanou (large) a referenční (small) spalovnu ( $L$  – large,  $S$  – small) [39]. Jako referenční zde poslouží spalovna o kapacitě 100 kt/rok a investičních nákladech 2,38 mld. Kč.

3. obecně prezentované hodnoty závislosti ceny na kapacitě (měrné náklady 25 tis. Kč/(t/rok) pro nižší kapacity – cca 100 kt a 15 tis. Kč/(t/rok) pro vyšší kapacity – cca 400 kt) a následně vytvořenou funkci, která byla získána proložení dvojice známých bodů aproximační funkcí ve tvaru:

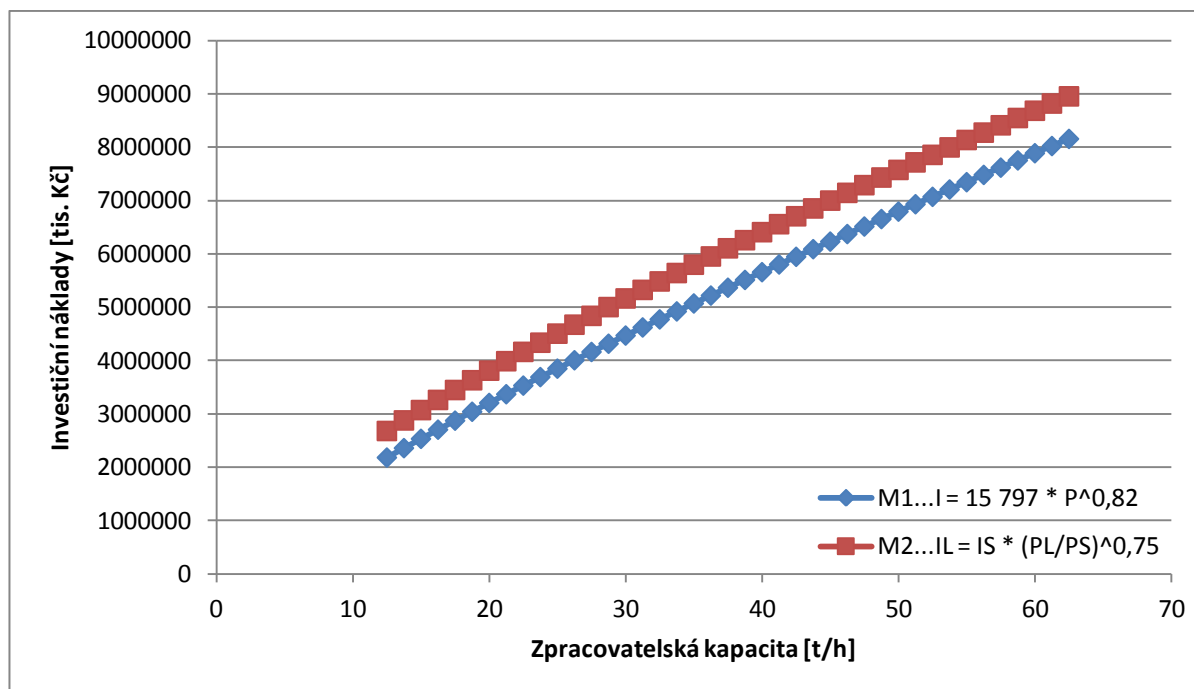
$$I = 507\,250 * Cap_{hod}^{0,6315}, \text{ kde} \quad (10)$$

$I$  značí investiční náklady v tis. Kč a

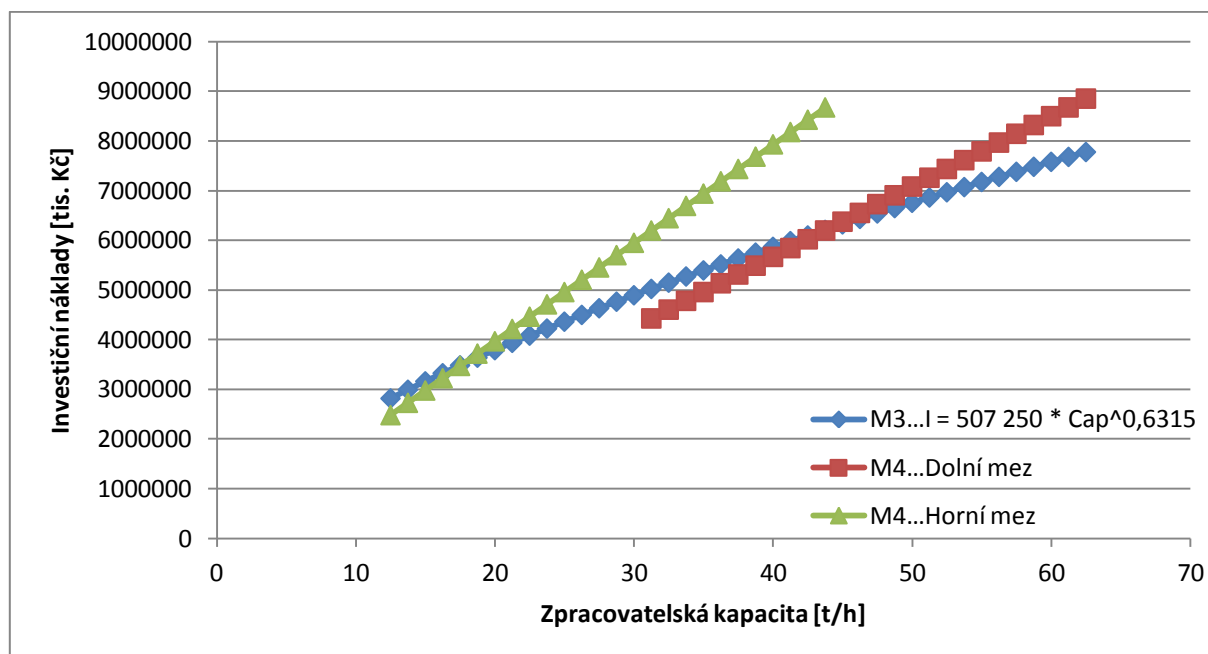
$Cap_{hod}$  hodinovou zpracovatelskou kapacitu.

Tato funkce bude v dalších částech práce uváděna jako model 3 (M3).

4. měrné investiční náklady, které se pohybují v rozmezí 5 až 7 mil. EUR na tunu instalovaného výkonu spáleného odpadu, které budeme dále značit jako model 4 (M4).



Obr. 25 - Ukázka modelů M1 a M2 pro odhad inv. nákladů



Obr. 26 - Ukázka modelů M3 a M4 pro odhad inv. nákladů

Grafické porovnání jmenovaných metod, které bylo pro názornost provedeno na obr. 25 a obr. 26 má čistě informativní charakter, jelikož diskuze o vhodnosti použití jednotlivých

vztahů bude součástí kap. 6.1.4., kde již dojde k porovnání jednotlivých vztahů pro odhad investičních nákladů s modelem investičních nákladů, který bude výstupem z této práce.

Vypracovaný ekonomický model počítá investiční náklady pro různé provozní soubory, z čehož vyplývá drobná modifikace původní rovnice (5). Její nový tvar bude:

$$I_{2,i} = I_{1,i} * \left(\frac{Cap_2}{Cap_1}\right)^{x_i}, \text{ kde} \quad (11)$$

Cap značí návrhový parametr pro i-tý provozní soubor (viz obr. 24),

$I_{x,i}$  značí měrné investiční náklady na i-tý provozní soubor a

$x_i$  značí mocninný koeficient pro i-tý soubor, přičemž tento koeficient může pro různé provozní soubory nabývat různých hodnot. Obecně pro technologie platí  $x = 0,6$  a z této hodnoty se v modelu i dále vychází.

Index i nabývá hodnot 1, ..., n, kdy n značí počet provozních souborů přítomných ve spalovně.

Měrné investiční náklady jednoduše určíme jako příslušnou procentuální část nákladů celkových. Toto procentuální rozdělení je k dispozici v tab. 14.

Provozní soubor		Podíl z ceny [%]
Stavba		36,58
Drtič odpadu		3,49
Jeřáby, zvedací zařízení		1,98
Termická část		24,65
	Přehřívák kotle	1,99
	Ostatní	22,67
Systém využití páry		2,37
Systém čištění spalin		17,53
	Filtrační elementy	1,42
	Látkový filtr	1,42
	Multicyklon	0,85
	Ostatní	13,84
Kompresorová stanice		0,87
Řídicí systém, komunikace, videosystém		9,22
Komíny, spalinovody		3,31

Tab. 14 - Procentuální rozdělení cen mezi provozní soubory při výstavbě SKO [40]

Každý z uvedených souborů bude mít podle rovnice (11) tedy i svůj vlastní upravitelný mocninný koeficient  $x_i$  z důvodu ještě přesnějšího odhadu investičních nákladů. V následující části práce se zaměříme ale jen na vybrané provozní soubory, které hrají při výpočtu nejdůležitější roli. Konkrétně je řeč o parním kotli, systému na využití tepla (turbína + generátor) a systému na čištění spalin. Tyto části jsou ve výpočtu těmi nejdůležitějšími z důvodu možné volby jejich počtu v technologii. I z toho důvodu bývají investiční náklady pro tyto provozní soubory často dodatečně přepočítávány ještě na vztažné jednotky, typické pro daný soubor. Uvažujme nyní referenční spalovnu (roční zpracovatelská kapacita 100 kt, pracovní fond 8000 h/rok a investiční náklady v roce 2011 cca 2,38 mld. Kč.

S využitím jejich rozdělení dle tab. 14 určíme měrné investice pro důležité provozní soubory (viz tab. 15).

Provozní soubor	Měrná investice v referenčním projektu [mil. Kč]	Typická vztažná jednotka a její hodnota	Měrná investice vzhledem ke vztažné jednotce
Termická část	587	12,5 t odpadu/h	47 mil. Kč/(t odp./h)
Systém využití páry	56,4	40 t páry/h	1,41 mil. Kč/(t páry/h)
Systém čištění spalin	417	62 500 m <sup>3</sup> spalin/h	6,8 tis. Kč/(m <sup>3</sup> spalin/h)
Ostatní	1320	12,5 t odpadu/h	105,6 mil. Kč/(t odp./h)

Tab. 15 - Měrné investice ve vybraných provozních souborech

Uvedené měrné investice v referenčním projektu i hodnoty vztažných jednotek byly pro účely tohoto výpočtu získány z ekonomického modelu a měrné investice vzhledem ke vztažné jednotce byly dopočítány ze vztahu:

$$I_{vzt} = \frac{I_i}{z_{vzt}}, \text{ kde} \quad (12)$$

$I_{vzt}$  značí měrnou investici vzhledem ke vztažné jednotce,

$I_i$  značí měrné investiční náklady na jednotlivé provozní soubory a

$z_{vzt}$  reprezentuje příslušnou vztažnou jednotku pro daný provozní soubor.

Jak bylo již zmíněno, provozní soubory v tab. 15 byly zvoleny záměrně. Jejich počty v technologii totiž můžeme v ekonomickém modelu měnit a sledovat chování investičních nákladů. Výhodou je i fakt, že se nemusí měnit počty jen celých kompletních linek, ale i jen některých samostatných provozních celků. Např. tedy můžeme odhadnout investiční náklady na spalovnu se dvěma spalovacími kotli se společným systémem na využití páry a společným čištěním spalin. Důležitost této výhody lze lehce dokázat na příkladech českých provozů EVO, které, jak ukazuje tab. 16 ne zdaleka vždy pracují se shodným počtem nejdůležitějších provozních souborů.

Spalovna	Kapacita [t/h]	Počet termických částí	Počet systému využití páry	Počet systému čištění spalin
Termizo Liberec	12	1	1	1
Sako Brno	28	2	1	2
Zevo Malešice	60	4	1	4

Tab. 16 - Množství pracovních souborů ve spalovnách v ČR [16] [17] [18]

Možnost zvolit si počet pracovních souborů také ještě drobným způsobem ovlivní tvar výpočtové rovnice (11), která bude mít po úpravě následující tvar:

$$I_{2,i} = m_i * I_{1,i} * \left( \frac{Cap_2/m_i}{Cap_1} \right)^{x_i}, \text{ kde} \quad (13)$$

$m_i$  značí počet použití v technologii spalovny pro  $i$ -tý provozní soubor, přičemž ostatní veličiny mají totožný význam jako v rovnici (11). Rovnice (13) už nebude během výpočtu nijak dále upravována a v tomto tvaru je použita ve všech částech ekonomického modelu.

#### 6.1.4 Ukázka použití modelu

Ekonomický model použitý k odhadu investičních nákladů v této práci ve svých výpočtech využívá rovnice (11) a (13). Jako referenční projekt zde slouží spalovna o kapacitě 100 kt/rok, přičemž víme, že bude disponovat jednou pracovní linkou. K takto strukturované spalovně byl získán odhad investičních nákladů, který v roce 2011 dosahoval hodnoty 2 379 mil. Kč. Rok výstavby je zmíněn záměrně, jelikož ve všech částech tohoto modelu byla v úvahu brána i inflace, a to s průměrnou roční hodnotou 3 %. Rok výstavby navrhované spalovny se tedy do ceny promítne vždy právě v podobě inflace. Součástí referenčního modelu jsou i pracovní parametry pro celou spalovnu a i jednotlivou linku. Pro určení měrných nákladů na jednotlivé procesní soubory je použito procentuální rozdělení z tab. 15.

Výstupem tohoto výpočtu jsou celkové investiční náklady na výstavbu dané spalovny, výše investice na jednotlivé položky a pracovní parametry celého provozu a jedné linky. Tyto vypočtené hodnoty jsou následně porovnávány ať už navzájem mezi sebou, nebo dostupnými zdroji z literatury, přičemž je snaha dosáhnout co nejnižších investičních nákladů na základě uspořádání spalovny a její zpracovatelské kapacity.

První závěr by měl plynout z porovnání různých možností použití počtu jednotlivých pracovních souborů. Je třeba dodat, že za hodnotu koeficientu  $x_i$  bylo pro všechny provozní soubory použito číslo 0,6.

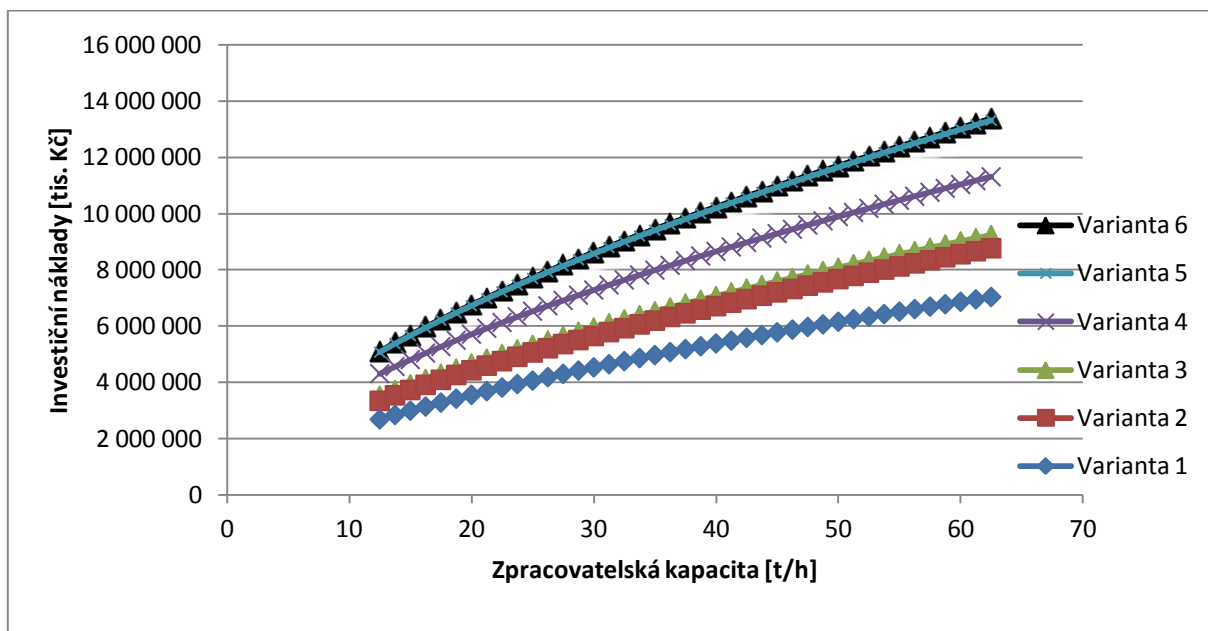
Hodnoceno bylo v tomto porovnání šest možných variant uspořádání technologie provozu EVO. Konfigurace jednotlivých variant byla učiněna na základě rozložení provozních souborů v reálných zařízeních EVO. Jejich výčet přináší tab. 17.

Číslo varianty (označení)	Počet termických částí	Počet systému využití páry	Počet systému čištění spalin
1 (1-1-1)	1	1	1
2 (2-1-1)	2	1	1
3 (2-1-2)	2	1	2
4 (3-1-3)	3	1	3
5 (4-1-4)	4	1	4
6 (4-2-4)	4	2	4

Tab. 17 - Zvolené varianty konfigurace zařízení EVO [1] [14]

Z obr. 27 vyplývá, že pro libovolnou hodnotu zpracovatelské kapacity budou nejnižší investiční náklady na technologii s jednou pracovní linkou. A naopak, nejvyšší náklady dostaneme při volbě technologie s nejvyšším počtem linek. Při použití jednolinkové technologie se provozovatel vystavuje riziku, obzvlášť jedná-li se o provoz s vysokou zpracovatelskou kapacitou, který by v případě nepředpokládané odstávky musel řešit otázku,

co s odpadem, který je do spalovny neustále navážen. Opatření, potřebná pro řešení možné situace pak mohou provozovatele stát nemalý finanční obnos, proto především u vysokokapacitních spaloven se předchází těmto krizovým stavům použitím technologie se dvěma a více linkami.



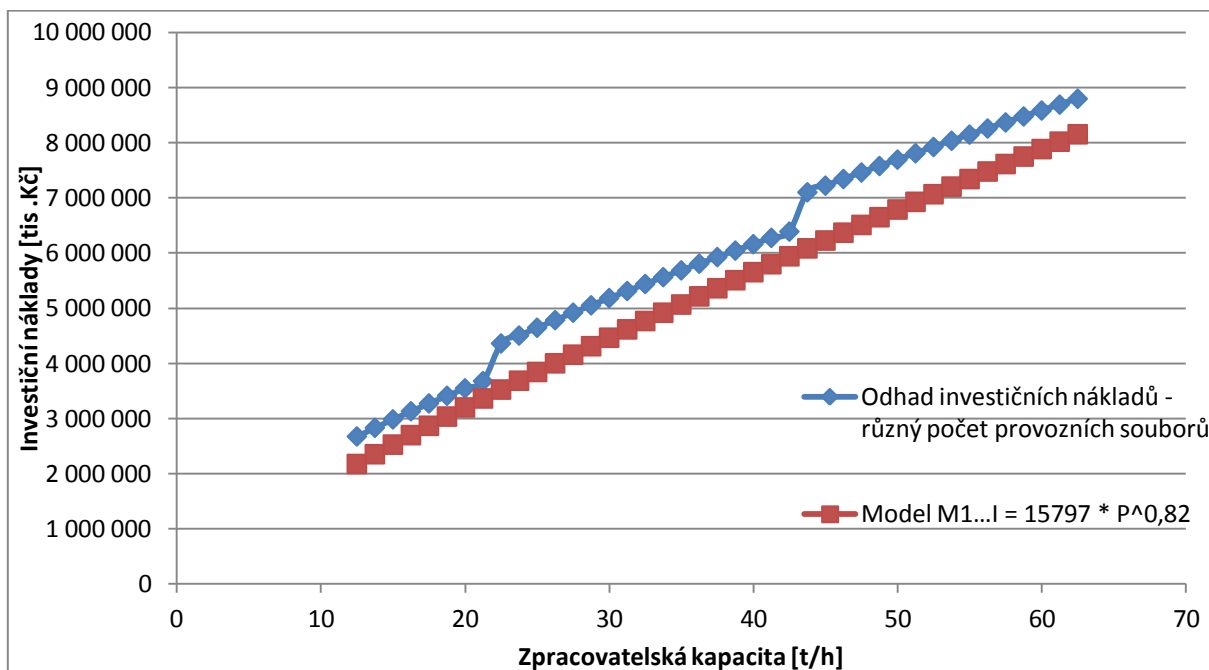
Obr. 27 - Porovnání investičních nákladů na vybrané konfigurace spaloven

V závislosti na vyhodnocení předchozího porovnání nyní rozdělíme vodorovnou osu do tří intervalů, přičemž v každém z nich bude spalovna plánovaná s odlišnou skladbou provozních souborů:

- varianta 1-1-1...100 – 170 kt/rok
- varianta 2-1-2...180 – 340 kt/rok
- varianta 3-1-3...340 – 500 kt/rok.

Takto rozdělená skoková funkce na výpočet investičních nákladů bude následně porovnána s kritérii, použitými v ekonomickém modelu.

V prvním případě, skokovou funkci odhadu investičních nákladů porovná s modelem M1, který vychází ze vztahu (8). Jde o vztah závislosti výšky investičních nákladů na jmenovitém výkonu kotle [35].



Obr. 28 - Porovnání odhadnutých investic s modelem M1

Obr. 28 odhaluje, že toto porovnávací kritérium má do jisté míry podobné tendence, jako investiční odhad vytvořený v ekonomickém modelu. Avšak hodnota investičních nákladů je pro obě porovnávaná kritéria odlišná. Tato odchylka může být způsobena např. formulováním obou odhadů v jiném roce, což má za následek rozdílné hodnoty investic při jejich stejném vzrůstajícím trendu v závislosti na kapacitě.

Následuje model M2 pro odhad investičních nákladů reprezentovaný rovnicí (9). Zajímavostí při použití tohoto vztahu, je fakt, že jedním z porovnávacích kritérií pro odhad investičních nákladů měla být i rovnice (5) s použitím takové hodnoty koeficientu  $x$ , aby vzniklá funkce co nejvěrněji kopírovala investiční náklady bez ohledu na zvolený počet linek. Experimentálně bylo za nejvhodnější hodnotu koeficientu  $x$  zvoleno číslo 0,75. Získali jsme tímto univerzální funkci, která by měla odhadnout plánované náklady na výstavbu zařízení EVO bez ohledu na zvolenou technologii spalovny. Tato funkce má tedy předpis:

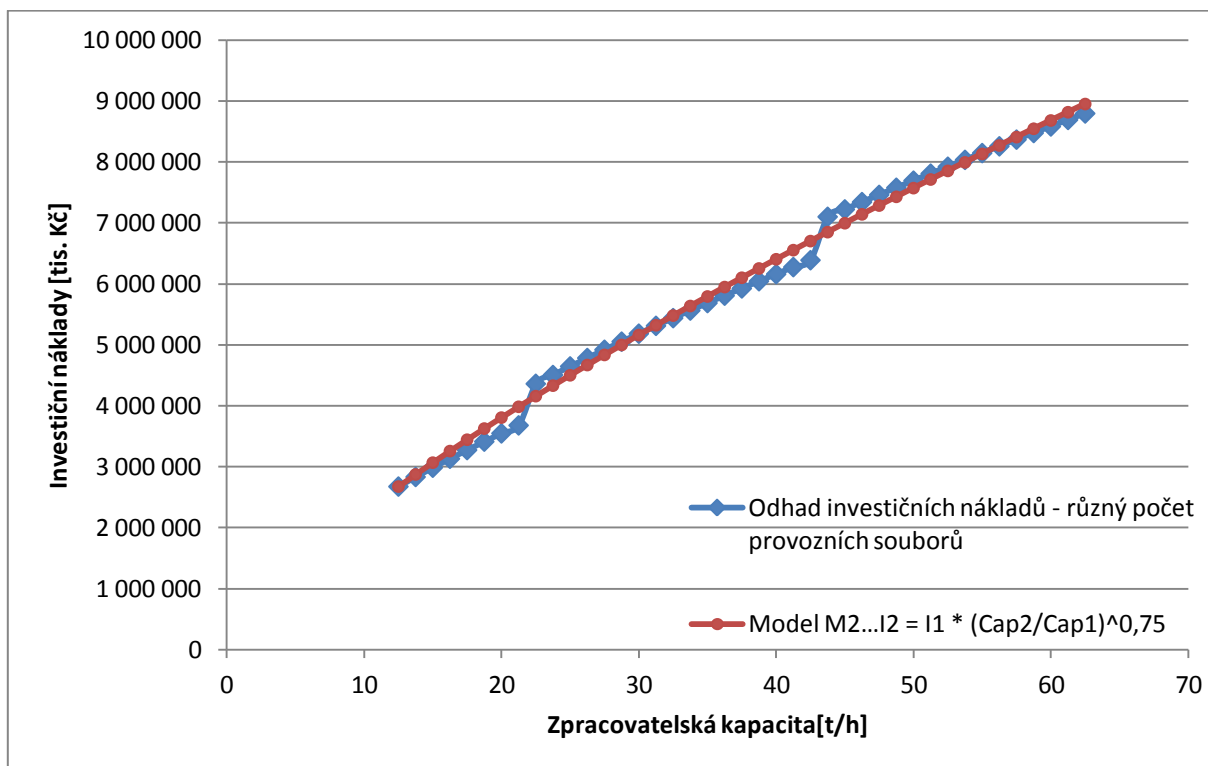
$$I_2 = I_1 * \left( \frac{Cap_2}{Cap_1} \right)^{0,75}, \text{ kde} \quad (14)$$

$I_1$  jsou náklady na referenční spalovnu (2,38 mld. Kč) a

$Cap_1$  je zpracovatelská kapacita referenční spalovny (12,5 t/h).

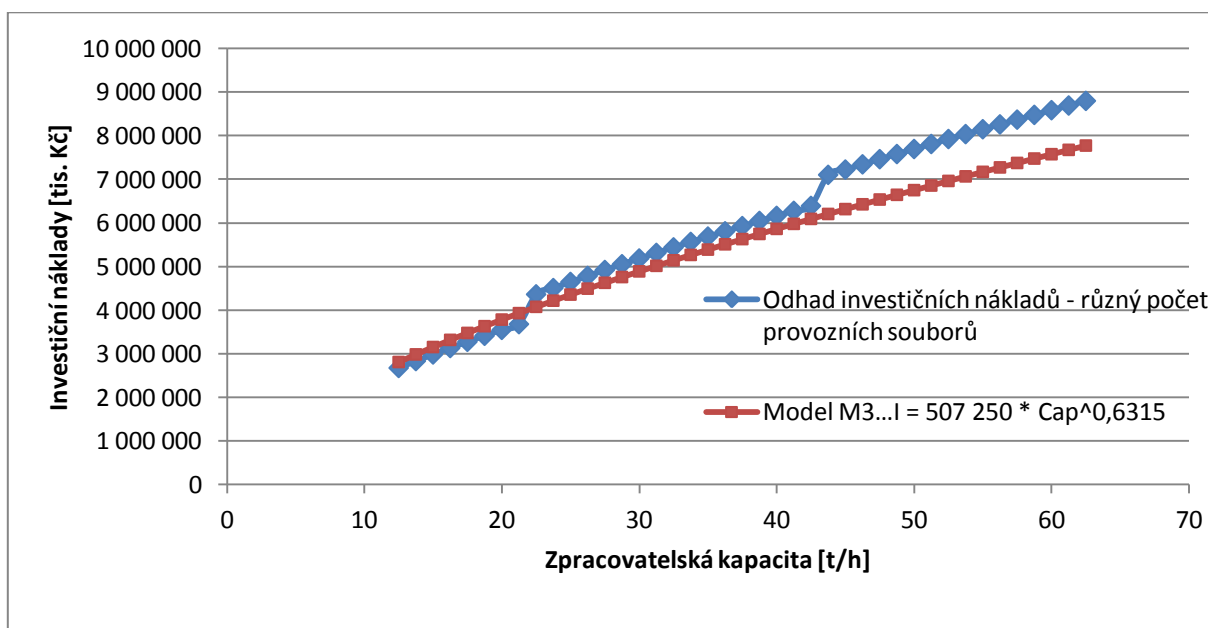
Zde můžeme pozorovat jasnou podobnost mezi rovnicemi (9) a (14). Dodáme-li navíc, že výkon kotle je závislý na účinnosti kotle, výhřevnosti odpadu a především na zpracovatelské kapacitě, můžeme tvrdit, že hodnota námi získaného koeficientu  $x = 0,75$  se shoduje se zdrojem v literatuře [39]. Nutno ještě dodat, že jako referenční spalovna při použití rovnice (14) posloužil opět provoz, jehož parametry obsahuje tab. 15. I v pohledu grafického porovnání na obr. 29 je patrné, že univerzální funkce (14) je vhodným vztahem pro odhad investičních nákladů na výstavbu zařízení EVO.





Obr. 29 – Porovnání odhadnutých investic s modelem M2

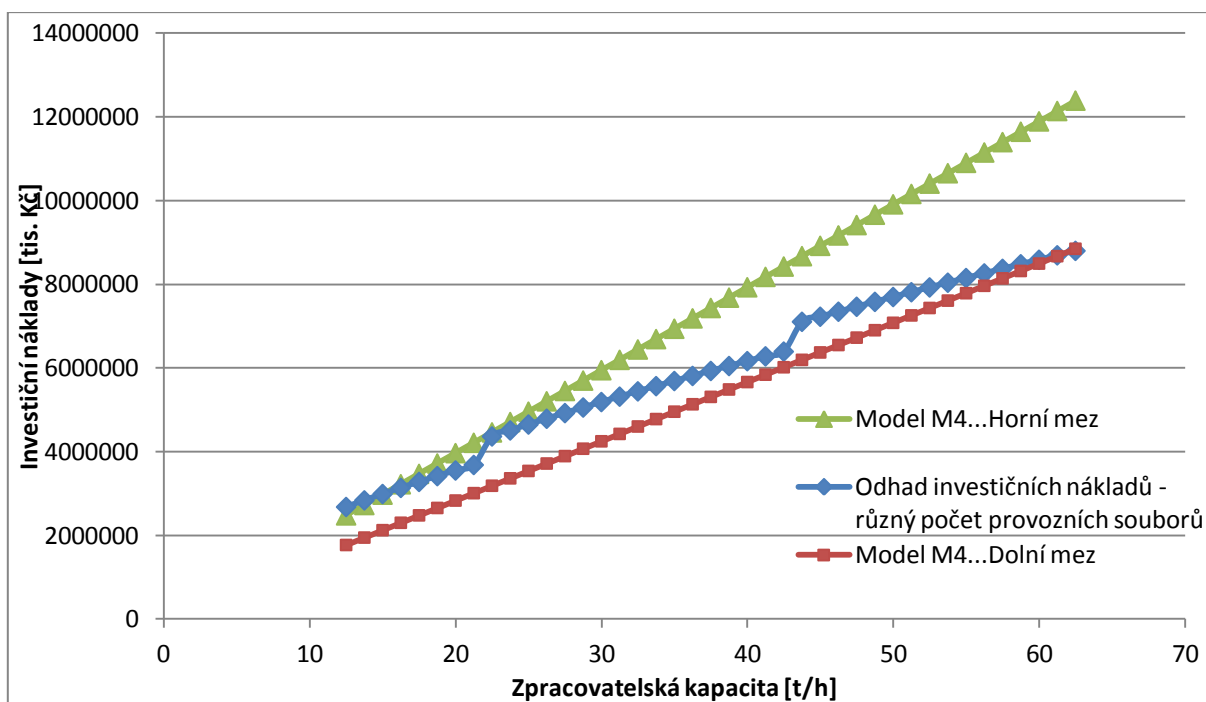
Dále srovnáme odhad investičních nákladů s modelem M3. Pro potřeby tohoto porovnání byly získány odborné odhady měrných nákladů spalovny a kapacitami 100 kt/rok (25 tis. Kč/(t/rok)) a 400 kt/rok (15 tis. Kč/(t/rok)). Následně byly vzniklé ceny pro známé kapacity proloženy mocninnou funkcí, na základě čehož byla získána rovnice (10), s kterou je odhad investičních nákladů porovnán na obr. 30.



Obr. 30 – Porovnání odhadnutých investic s modelem M3

Jak je patrné z obr. 30, mocninná funkce získaná ze dvou známých investičních nákladů nedokáže reagovat na požadavky projektanta ohledně volby počtu zpracovatelských linek na celém porovnávaném intervalu. Za předpokladu odhadu investic na omezeném intervalu, se o použití této aproximace cenou (10) dalo uvažovat. Odchyly od hodnot vytvořených v investičním modelu jsou zapříčiněny nejasnou formulací celé porovnávací metody, jelikož nejsou měrné náklady určeny pro konkrétní kapacity spaloven, ale jen pro jejich přibližné hodnoty.

Poslední z kritérií nám nepomůže s odhadem investičních nákladů, ale díky ní odhalíme, zda se při návrhu technologie pohybujeme v optimálním pásmu nákladů. Uvedené hranice byly určeny na základě zkušeností a jsou při výstavbě zařízení EVO brány jako doporučující mezní hodnoty. Horní hranicí je 7 mil. EUR na tunu hodinově zpracovaného odpadu, přičemž tato hranice je více směrodatná pro spalovny s nižší zpracovatelskou kapacitou. Spodní hranicí je 5 mil. EUR na tunu hodinově zpracovaného odpadu. Tato spodní hranice bývá určující spíše pro zařízení s vyšší zpracovatelskou kapacitou. Princip výpočtu je tedy založen na porovnání skokové funkce investičních nákladů s určenými hranicemi.



Obr. 31 - Porovnání odhadnutých investic s modelem M4

Obr. 31 nám jen potvrzuje, že hodnota horní meze je směrodatnější pro nižší zpracovatelskou kapacitu. Stejně tak dolní mez omezuje skokovou funkci spíše až při vyšších zpracovatelských kapacitách. Dále můžeme pozorovat, že porovnávaná skoková funkce se téměř na celém intervalu drží svojí funkční hodnotu mezi zadanými mezemi, což znamená, že se námi odhadované investiční náklady pohybují ve stejném intervalu jako hodnoty u reálných zařízení.

Ekonomický model samozřejmě poskytuje možnost výše uvedené metody v grafickém znázornění kombinovat. A tím pádem moci získávat stále přesnější představu o přesnosti odhadu investičních nákladů.

## 6.2 Posouzení výhodnosti řešení jednotky EVO v konfiguraci s více linkami

Aby mohl být vytvořený model používán v praxi, byly sestaveny dvě modelové varianty, na kterých bude ověřena vhodnost použití dvou, či více linek při plánování výstavby nového zařízení EVO. Obě tyto varianty fungují na principu použití vztahů (11) a (13) sestavených při odhadu investičních nákladů a navíc v obou variantách počítáme s možným zvýšením pracovního fondu u vícelinkových aplikací. Zároveň ale budou použita i data z poskytnutého komplexního modelu, popsaného v kap. 4.1. Z tohoto modelu budou získány hodnoty celkových příjmů spalovny v závislosti na kapacitě, cenách elektrické energie a tepla a výši státních příspěvků na výrobu energie z druhotných a obnovitelných zdrojů. Parametry, které byly použity ve výpočtu a jejichž hodnota je závislá na ekonomické situaci v lokalitě výstavby spalovny obsahuje tab. 18. Hodnoty z této tabulky jsou určeny na základě plánovaného roku výstavby posuzovaného zařízení EVO (tj. 2015), v případě, že by byla výstavba spalovny plánována na pozdější rok, bylo by nutné navýšit hodnoty výpočtových parametrů na základě plánovaného růstu ekonomiky.

Výpočtový parametr	Hodnota
Cena elektrické energie	1 200 Kč/MWh
Cena tepla	150 Kč/GJ
Cena za zpracování odpadu (Cena na bráně – gate fee)	1 300 Kč/t
Státní příspěvek na výrobu energie z obnovitelných zdrojů (OZE)	1 000 Kč/MWh
Státní příspěvek na výrobu energie z druhotných zdrojů (DZE)	1 000 Kč/MWh
Státní příspěvek na kombinovanou výrobu energie a tepla (KVET)	100 Kč/MWh
Investiční podpora	0 %

Tab. 18 – Okrajové podmínky výpočtu [1]

V úvodu této kapitoly již padla zmínka, že posouzení výhodnosti řešení bylo sestaveno ve dvou odlišných variantách:

- jednotná hodinová kapacita – jednotka EVO bude bez ohledu na hodnotu pracovního fondu pracovat s konstantní hodinovou zpracovatelskou kapacitou
- jednotná roční kapacita – jednotka EVO bude mít danou roční zpracovatelskou kapacitu, která bez ohledu na pracovní fond bude konstantní.

Výstupní hodnotou z obou variant by měla být hodnota pracovního fondu, která zaručí relevantní navýšení výnosů vzhledem ke zvýšení investičních nákladů. Na základě výsledků z tohoto porovnání tedy bude možné z ekonomického hlediska posoudit, zda je vhodné budovat SKO s dvěma a více linkami, či nikoliv.

### 6.2.1 Model založený na jednotné hodinové kapacitě

Jak již název napovídá, v první variantě budeme předpokládat, že spalovna bude navrhována na provoz s konstantním hodinovým množstvím spáleného odpadu, jak v referenčním modelu s jednou linkou, tak i v alternativní konfiguraci při použití dvou a více

linek. Zjednodušeně řečeno se tedy budeme snažit najít takovou hodnotu pracovního fondu, při které navýšení celkových výnosů bude mít stejnou hodnotu jako navýšení investic na základě použití většího množství provozních souborů.

Výška investičních nákladů na jednotlivé provozní soubory je v první řadě dána stěžejními návrhovými parametry těchto souborů, přičemž každý soubor má jinou vztažnou jednotku, podle které se investiční náklady řídí. Příklady těchto vztažných jednotek pro vybrané provozní soubory byly již uvedeny v tab. 15. Především z tohoto důvodu nejsou investiční náklady vyčíslovány vzhledem ke zpracovatelské kapacitě, ale vzhledem ke vztažné jednotce.

Za předpokladu, že u spalovny s konstantní hodinovou kapacitou dosáhneme vyššího pracovního fondu (např. právě díky použití vícelinkové technologie), získáme vyšší roční kapacitu, což bude mít za následek vyšší příjmy, přičemž investice, závislé na hodinové kapacitě, zůstanou stejné. V reálném provozu by došlo rovněž ke zvýšení výdajů za variabilní nákladové položky, kterými rozumíme elektřinu nebo chemické látky potřebné v systému čištění spalin. Z důvodu zjednodušení modelu jsou v našem případě výdaje za variabilní položky zanedbány. Tato porovnávací metoda tedy prakticky porovnává nárůst příjmů, pramenících z vyššího pracovního fondu s nárůstem investičních nákladů z důvodu použití většího množství provozních souborů než v referenční spalovně.

Jako vstupní hodnoty do tohoto modelu zadáváme roční kapacitu spalovny s jednou linkou, která se přepočítá na kapacitu hodinovou a dále na návrhové parametry. Druhou vstupní hodnotou je počet linek v porovnávané vícelinkové variantě. Ke spalovně s jednou linkou je nutné z poskytnutého komplexního modelu ručně doplnit celkový výnos. Při výpočtu celkového výnosu za dobu fungování spalovny se v komplexním modelu vychází z okrajových podmínek, uvedených v tab. 18.

Hledání řešení probíhá v tomto případě tak, že odhadujeme hodnotu pracovního fondu pro vícelinkovou konfiguraci, což má za následek vyšší roční zpracovatelskou kapacitu, podle jejíž hodnoty z komplexního modelu doplníme celkový výnos, přičemž opět používáme okrajové podmínky z tab. 18. Náklady na posuzovanou spalovnu jsou v modelu dopočítány podle shodného algoritmu, který je použit při odhadu investičních nákladů (kap 6.1). Následně sledujeme rozdíl mezi příjmy a investicemi varianty s jednou a více linkami. Tento rozdíl je vyjádřen pomocí procentuální odchylky. Je-li její hodnota dostatečně nízká (zvoleno  $\pm 0,1\%$ ), můžeme zvolený roční pracovní fond u vícelinkové technologie brát jako vhodný požadovaný výstup z modelu. Jelikož jsou v současnosti plánovány výstavby spaloven s různými ročními zpracovatelskými kapacitami, byla do řešení zahrnuta široká škála jejich hodnot, což by mělo vést k co nejpřesnějšímu uvedení vlivu počtu linek při zachování konstantní hodinové zpracovatelské kapacity.

Zpracovatelská kapacita při fondu 8000 h		Potřebný roční pracovní fond pro SKO s	
[t/h]	[kt/rok]	2 linkami (2-1-2)	3 linkami (3-1-3)
12,5	100	8 210 h	8 384 h
18,75	150	8 182 h	8 322 h
25	200	8 158 h	8 280 h
37,5	300	8 134 h	8 236 h
50	400	8 119 h	8 210 h
62,5	500	8 109 h	8 192 h

Tab. 19 - Hodnoty pracovních fondů pro variantu 1

Tab. 19 nám ukazuje, při jakém pracovním fondu dosáhne spalovna o dané kapacitě a daném počtu linek stejného ekonomického efektu jako spalovna s jednou linkou a ročním pracovním fondem 8000 hodin. Z čistě ekonomického hlediska měla výstavba vícelinkové technologie smysl pouze v případě, že potřebný fond pracovní doby bude v provozu reálně dosažitelný, tj. aby nebyl potřebný pracovní fond vyšší než jeho maximální možná roční hodnota (cca 8750 hodin) snížená o nutné odstávky celé technologie.

Pro větší konkretizaci hodnot vystupujících z ekonomického modelu bude nyní proveden detailnější rozbor závislosti investičních nákladů na konfiguraci technologie a pracovním fondem. Hodnota roční zpracovatelské kapacity nemá na postup výpočtu ani vypovídací hodnotu výsledků vliv.

<b>Hodinová zpracovatelská kapacita 18,75 t/h, fond 8000 h</b>	<b>Parametry</b>	
	<b>1 linka</b>	<b>2 linky (2-1-2)</b>
Hodinová zpracovatelská kapacita [t/h]	18,75	18,75
Celkové investiční náklady [mil. Kč]	3 415	3 911
- z toho termický systém	1 x 842 (1 x 18,75 t/h odpadu)	2 x 555 (2 x 9,38 t/h odpadu)
- z toho systém využití páry	1 x 81 (1 x 60 t/h páry)	1 x 81 (1 x 60 t/h páry)
- z toho systém čištění spalin	1 x 599 (1 x 93 750 m <sub>N</sub> <sup>3</sup> spalin)	2 x 395 (2 x 46 875 m <sub>N</sub> <sup>3</sup> spalin)
- z toho ostatní	1 893 (1 x 18,75 t/h odpadu)	1930 (2 x 9,38 t/h odpadu)
Navýšení investičních nákladů		
- [mil. Kč]		+ 496 mil. Kč
- [%]		+ 14,52 % z ceny jednolinkové spalovny

Tab. 20 - Detailní rozdělení investičních nákladů pro vybranou kapacitu spalovny

K určení ještě podrobnější ekonomické situace zařízení EVO mohou napomoci hodnoty ze sestaveného T-E modelu z kap. 4. Na základě hodnot vystupujících z modelu a hodnoty investičních nákladů z tab. 20 bychom měli dokázat předpovědět ekonomickou bilanci spalovny s jednou zpracovatelskou linkou za dobu jejího provozu.

Hodinová zpracovatelská kapacita 18,75 t/h, fond 8000 h	Po dobu životnosti 25 let	Za hodinu provozu
Výroba tepla [GJ]	10 375 000	51,88
Výroba elektřiny [MWh]	1 976 400	9,88
Produkce páry [t]	12 132 000	60,66
Příjem za zpracování odpadu [tis. Kč]	4 875 000	24,38
Příjem za teplo [tis. Kč]	1 556 250	7,78
Příjem za elektřinu [tis. Kč]	2 371 680	11,86
Příjem z dotací (DZE,OZE,KVET) [tis. Kč]	4 150 450	20,75
Investiční náklady [tis. Kč]	3 415 113	17,08
Náklady na provoz o údržbu [tis. Kč]	956 480	4,78
Úrok (= IRR)	11 %	
CRF ( $\alpha$ )	0,1187	
Výnosy celkem [tis. Kč]	12 953 380	64,77
Náklady celkem – neuvažujeme úrok [tis. Kč]	4 372 000	21,86
Náklady celkem – uvažujeme úrok [tis. Kč]	11 090 579	55,45
Celková bilance - bez IRR	8 581 380	42,91
- s IRR	1 862 801	9,31

Tab. 21 - Detailní výpis výstupů z bilančního a T-E modelu

Hodnoty v tab. 21 byly získány aplikací rovnice (1) na hodnoty získané pro zvolenou zpracovatelskou kapacitu z bilančního modelu. Okrajové podmínky k výpočtu byly získány z tab. 18 a požadavky na odběr tepla byly zvoleny v T-E modelu adekvátně vzhledem k požadavkům závislým na roční době. Dvě varianty celkové bilance byly zvoleny z toho důvodu, že ekonomický model zjišťující roční pracovní fond vícelinkové technologie EVO nebere v úvahu požadavek na hodnotu IRR. Tento fakt značně ovlivní roční ekonomickou bilanci spalovny, protože při nulové hodnotě IRR do ní za investiční náklady dosazujeme celkové investiční náklady dělené životností spalovny. Zatímco, je-li vznesen požadavek na výši hodnoty IRR je z celkových investičních nákladů do roční ekonomické bilance brána část daná hodnotou Capital Recovery Factoru  $\alpha$ . Hodnota CRF závisí na životnosti podle vztahu (2) a vliv jeho použití může být lehce ukázán na příkladech spalovny hodnocené v tab. 21. Neuvažujeme-li ve výpočtu IRR, tak do ročních investičních nákladů bereme 4 % z celkových investic (vzhledem k životnosti 25 let), zatímco při požadované hodnotě IRR 11 % nám hodnota  $\alpha$  vyjde přibližně 11,9 % a do roční ekonomické bilance tedy zahrnujeme o cca 7,9 % vyšší hodnotu investičních nákladů. Hodnoty v tab. 21 mají tedy úkol ukázat, jak velký vliv na celý výsledek má zavedené zjednodušení.

Kdybychom chtěli přesněji porovnat ekonomickou bilanci dvou konfigurací zařízení EVO, vycházeli bychom z modifikace rovnice (1), která by měla následující tvar:

$$\alpha * (I_2 - I_1) + C_{2hod} * t_{2,fond} - C_{1,hod} * t_{1,fond} = R_{2,hod} * t_{2,fond} - R_{1,hod} * t_{1,fond} \quad (15)$$

přičemž díky zavedení předpokladu rovnosti hodinových výnosů a hodinových nákladů na provoz a údržbu (z důvodu konstantní hodinové zpracovatelské kapacity) dospějeme ke vztahu:

$$t_{2,fond} - t_{1,fond} = \frac{\alpha * (I_2 - I_1)}{R_{hod} - C_{hod}}, \quad (16)$$

přičemž za  $t_{1,fond}$  dosadíme 8000 hodin a poté již budeme moci dopočítat potřebný pracovní fond vícelinkové technologie.

Z výsledků uvedených v tab. 19 a tab. 21 můžeme usoudit, že tato varianta je pro výstavbu vícelinkových zařízení EVO ekonomicky přijatelnou možností. Při tvorbě tohoto ekonomického modelu však došlo k některým zjednodušujícím předpokladům, a proto ještě bude nutné vliv těchto zjednodušujících předpokladů přesněji určit. Komplexní pohled na celý problém bude součástí další z kapitol této práce v kap 6.2.3 .

## 6.2.2 Model založený na konstantní roční zpracovatelské kapacitě

I v tomto případě název vypovídá jasně o bližší specifikaci dané varianty. Tato bude pracovat s faktem, že roční zpracovatelská kapacita spalovny bude konstantní, bez ohledu na počet linek a výši pracovního fondu. Hledanou neznámou však opět bude hodnota ročního pracovního fondu, při kterém bude rozdíl celkových příjmů a celkových nákladů na výstavbu spalovny shodný pro obě posuzované technologie.

Konstantní roční zpracovatelská kapacita má za následek shodné množství vyrobeného tepla i elektřiny u jednolinkové i vícelinkové technologie. Budeme-li zachovávat konstantní roční zpracovatelskou kapacitu, je zřejmé, že při zvýšení pracovního fondu dojde ke snížení hodinové zpracovatelské kapacity a tedy i hodinového výnosu. Současně nižší hodinová kapacita znamená nižší investiční náklady. Úkolem modelu je tedy určit při jakém pracovním fondu dojde u spalovny s více linkami k takovému snížení investičních nákladů, aby investiční náklady na tuto konfiguraci byly stejné jako u spalovny s jednou linkou.

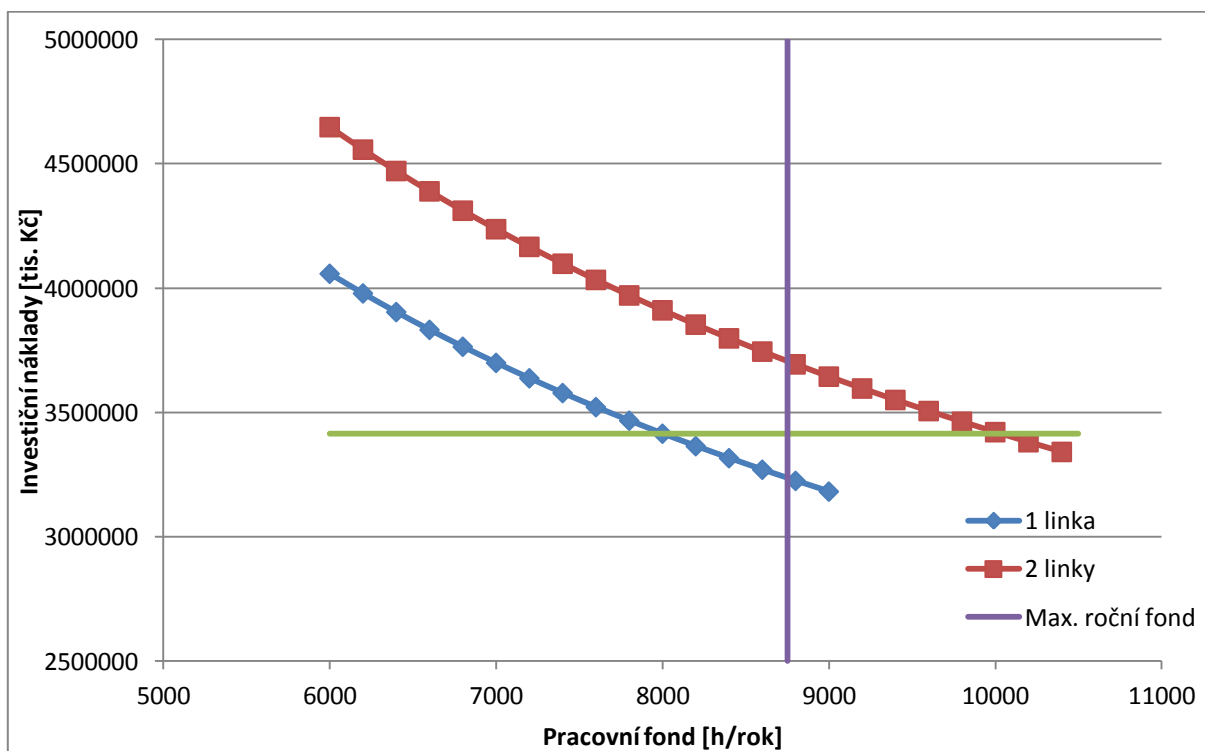
Výpočtový algoritmus tohoto modelu se v zásadě výrazně neliší od první varianty, popsané v kap. 6.2.1. Vstupními volenými hodnotami jsou v tomto případě opět roční zpracovatelská kapacita a počet linek u porovnávané spalovny. Celkový výnos spalovny, v tomto případě není nutné uvádět, jelikož je pro referenční i hodnocenou spalovnu totožný z důvodu shodné roční kapacity. Získávání řešení je i v této variantě založeno na odhadu ročního pracovního fondu, na kterém přímo závisí hodinová kapacita, jež zásadně ovlivňuje výšku investice. Velikost investičních nákladů je počítána shodným postupem, který je použit jak při přímém výpočtu investičních nákladů, tak ve variantě v kap. 6.2.1. Stejně tak je míra přesnosti odhadnutého pracovního fondu určena odchylkou obou hodnot investičních nákladů. Opět je hodnota pracovního fondu přijatelná, pohybuje-li se odchylka v rozmezí  $\pm 0,1 \%$ .



Zpracovatelská kapacita při fondu 8000 h		Potřebný roční pracovní fond pro SKO s	
[t/h]	[kt/rok]	2 linkami (2-1-2)	3 linkami (3-1-3)
12,5	100	10030 hod	11620 hod
18,75	150	10030 hod	11620 hod
25	200	10030 hod	11620 hod
37,5	300	10030 hod	11620 hod
50	400	10030 hod	11620 hod
62,5	500	10030 hod	11620 hod

Tab. 22 - Hodnoty pracovních fondů pro variantu 2

Jen letmý pohled do Tab. 22 naznačí, že výsledné hodnoty za předpokladu konstantní roční zpracovatelské kapacity přesahují maximální možný roční pracovní fond, který má přibližnou hodnotu 8750 hodin. Náklady vzrůstající v důsledku vyššího počtu linek by měly být kompenzovány poklesem nákladů díky zvýšení pracovního fondu, které má za následek nižší hodinovou kapacitu. Obr. 32 jasně ukazuje, že trend poklesu investičních nákladů závislých na ročním pracovním fondu je pro obě porovnávaná uspořádání podobný. Díky vysokému rozdílu investičních nákladů pro stejný pracovní fond vícelinková technologie vyrovná investiční náklady na zařízení s jednou linkou mimo dostupný roční pracovní fond. Z důvodu aspektů jiných než ekonomických bude i použití této varianty součástí zhodnocení použití ekonomického modelu.



Obr. 32 - Důkaz nevhodnosti použití varianty

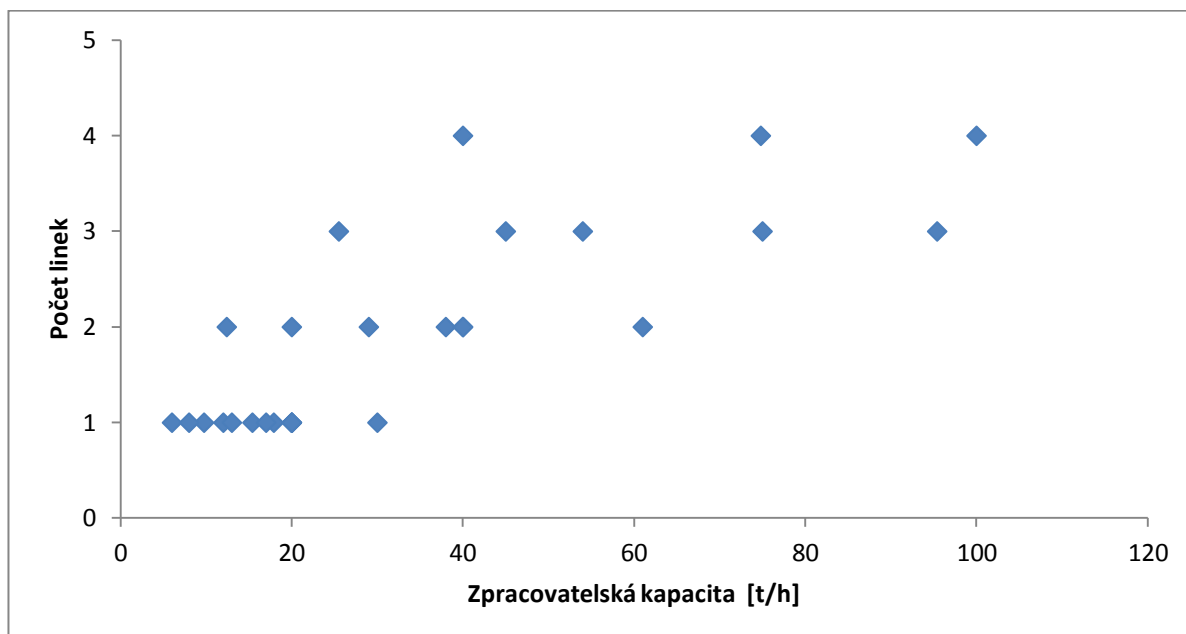
### 6.2.3 Vyhodnocení vhodnosti použití

Po aplikaci modelu v obou variantách vyvstává jasná otázka. Je výhodnější budovat nové spalovny komunálního odpadu s jednou nebo se dvěma a více linkami? Díváme-li se na celou věc pouze z ekonomického hlediska (porovnání investičních nákladů, variabilních nákladů a příjmů), vychází výhodněji varianta s jednou zpracovatelskou linkou, přičemž s rostoucí zpracovatelskou kapacitou se rozdíly mezi oběma možnostmi snižují.

Posoudíme-li vhodnost použití obou zkoumaných variant, tak ta, uvažující konstantní roční zpracovatelskou kapacitu (kap. 6.2.2) vychází z ekonomického hlediska zcela neproveditelně. Zatímco při variantě s konstantní hodinovou kapacitou (kap. 6.2.1) se vícelinková technologie při zavedení zjednodušujících předpokladů již při zvýšení pracovního fondu o cca 150 – 200 hodin ročně ekonomicky vyrovná technologii s jednou linkou. Z ekonomického pohledu je tedy tato varianta reálnou možností pro použití při návrhu skutečné technologie EVO. Problémem na druhou stranu může být fakt, že požadavky na kapacitu spalovny bývají nejčastěji uváděny v roční zpracovatelské kapacitě, zatímco v tomto případě roční kapacitu uměle navyšujeme růstem pracovního fondu.

Navíc posuzovat celou problematiku pouze z hlediska zjednodušeného ekonomického pohledu, tedy investičních nákladů a celkového výnosu však není zdaleka tou nejpřesnější možností. Do úvahy by měly být brány i nepředpokladatelné události (externality), ke kterým může dojít během provozu. Spalovna pracující ve více linkách si snáze poradí s problémem, jakým může být nečekaná odstávka jedné z linek. Spalovna pouze s jednou linkou bude v případě poruchy nucena zastavit provoz, což bude mít za následek hromadění přiváženého odpadu v bunkru a postupem času i nemožnost přijímat další odpad. Dojde tedy k neplnění smluv ohledně příjmu odpadu, což bude mít logicky za následek finanční ztráty ať už v podobě sankcí, nebo zvýšených výdajů na přemístění přebytečného odpadu. Podobná situace nastane při každoročních plánovaných odstávkách. Zatímco spalovna s jednou linkou bude odpad pouze hromadit a po odstávce bude třeba po určitou dobu nutné spalovat větší množství odpadu, tak spalovna s více linkami může odstávky jednotlivých linek plánovat postupně a nedojde tedy k tak výrazné diskontinuitě provozu. Započítány by měly být rovněž náklady na odstávku a opětovné uvedení do provozu. Obecně řečeno jsou tyto stavy a finanční efekty jen velmi špatně vyčíslitelné. Konečný verdikt nelze tedy jen tak jednoduše vyřknout. Za předpokladu ideálně kontinuálního provozu by se jako výhodnější jevila spalovna s jednou linkou, avšak, zahrneme-li možná rizika obnášející provozování spalovny, jakými jsou neplánované odstávky, přichází spalovny s více linkami jako možné účinné řešení.

S problémem volby počtu zpracovatelských linek se potýká samozřejmě každý projektant zařízení EVO, a proto se můžeme rozhlédnout po světě a zjistit, jakým způsobem jsou řešeny aktuální projekty, popř. jaká technologie byla zvolena u projektů nedávno dokončených [41]. Obr. 33 ukazuje závislost zvoleného počtu zpracovatelských linek na celkové hodinové zpracovatelské kapacitě.



Obr. 33 - Závislost počtu linek na zprac. kapacitě u vybraných zařízení EVO ve světě [41]

Seznam zařízení EVO, které byly použity do tohoto srovnání je součástí Přílohy č. 2 této práce. Na základě rozložení bodů, vyjadřujících konkrétní zařízení můžeme tvrdit, že zařízení EVO s roční zpracovatelskou kapacitou pod 20 t/h (tj. cca 160 kt/rok) obvykle bývají projektovány s jednou zpracovatelskou linkou. Zatímco spalovny se zpracovatelskou kapacitou vyšší jsou takřka bez výjimky projektovány ve vícelinkové konfiguraci. Přesný počet linek je poté závislý na konkrétním projektu, cenách odpadu, energií a dalších okolnostech. Neexistuje však žádné komplexní řešení a na každý projekt je tedy nutné nahlížet individuálně.

## 6.3 IRR jako funkce závislosti ceny na bráně

V rámci této diplomové práce byl také sestaven jednoduchý model, který pro jednotlivé plánované projekty výstavby zařízení EVO vyčísluje závislost vnitřního výnosového procenta IRR na ceně za zpracování odpadu, jinak nazývané „poplatek na bráně“ (gate fee). K získání hodnoty IRR v závislosti na gate fee při okrajových podmínkách z tab. 23 byl použit komplexní T-E model, poskytnutý za tímto účelem Ústavem procesního a ekologického inženýrství.

Výpočtový parametr	Hodnota
Cena tepla	100 Kč/GJ
Státní příspěvek na výrobu energie z obnovitelných zdrojů (OZE)	1 200 Kč/MWh
Státní příspěvek na výrobu energie z druhotných zdrojů (DZE)	1 200 Kč/MWh
Státní příspěvek na kombinovanou výrobu energie a tepla (KVET)	100 Kč/MWh
Investiční podpora	25 %

Tab. 23 - Okrajové podmínky pro výpočet IRR v závislosti na gate fee

Interval hodnot poplatku na bráně se pohyboval pro každé plánované zařízení EVO od 500 Kč/t odpadu do 3 000 Kč/t odpadu. Pro hodnoty z tohoto intervalu bylo v komplexním modelu dopočítáno příslušné vnitřní výnosové procento a následně došlo k vytvoření kvadratické aproximační funkce, která svým průběhem kopíruje závislost IRR na poplatku na bráně pro jednotlivé plánované projekty.

Pro názornost byl náhodně vybrán jeden z plánovaných projektů a to konkrétně ZEVO Chotíkov (kap. 3.3.2), na jehož případě bude jasně patrný postup při určení funkce závislosti IRR na gate fee.

Gate fee [Kč/t odp.]	500	1000	1300	1600	2000	2300	2600	3000
IRR [%]	-0,1	6,02	8,54	10,71	13,31	15,11	16,82	19

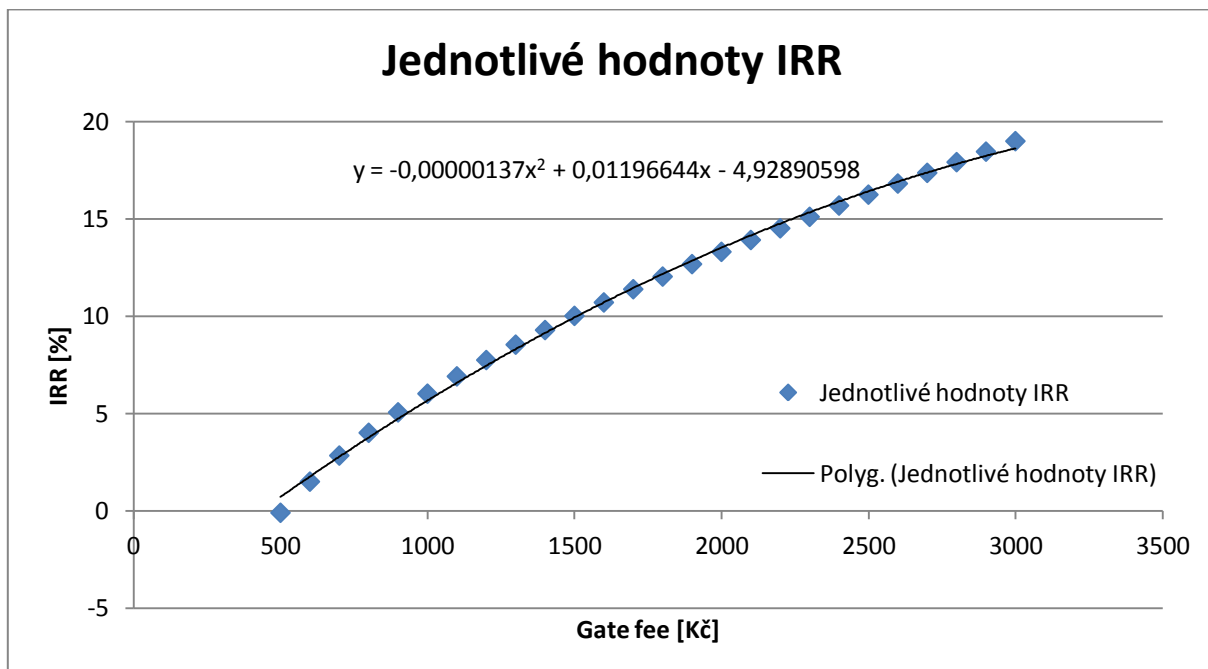
Tab. 24 - Vybrané hodnoty IRR

Tab. 24 obsahuje výsledné hodnoty IRR pro vybrané hodnoty poplatku na bráně. Kompletní výpočet pro všechna zařízení EVO z tab. 11 je součástí modelu vypracovaného v programu Microsoft Excel. V tomto programu byla mj. i pro hodnocené zařízení EVO získána aproximační funkce, pomocí níž jsme schopni odhadnout hodnotu IRR v závislosti na výši gate fee (viz obr. 34). Pro spalovnu ZEVO Chotíkov má tato funkce následující tvar:

$$IRR = 0,00000137 * GF^2 + 0,0119644 * GF - 4,9289, \text{ kde} \quad (17)$$

GF značí hodnotu gate fee v Kč, přičemž

IRR posléze získáme v %.



Obr. 34 - Grafické znázornění vzniku aproximační funkce IRR v závislosti na gate fee

## 7 Závěr

Množství vyprodukovaného odpadu celosvětově narůstá důsledkem zvyšování populace lidské rasy a zároveň i neustálou snahou států o navyšování ekonomických ukazatelů (hrubý domácí produkt). Energetické využití odpadu je proto v současnosti vedle recyklace a opětovného materiálového využití odpadu velmi diskutovaným tématem, jelikož se už nejen průmyslově nejvyspělejší státy snaží odklánět co největší množství odpadu od skládkování.

Česká republika v současnosti disponuje třemi zařízeními na energetické využití odpadu (EVO), ale jejich souhrnná kapacita nedokáže pokrýt množství odpadu, které se ČR zavázala do roku 2020 odklonit od skládkování. Proto došlo k vypracování studie, která při svém ideálním zrealizování počítá s výstavbou 11 nových zařízení EVO, s jejichž pomocí by bylo možné požadované množství komunálního odpadu 2850 kt/rok od skládkování odklonit [1].

Spalovna komunálního odpadu je projekt vyžadující investiční náklady v řádech miliard Kč, proto je pro její výstavbu nezbytná nutnost získání investora, který by se na financování spalovny spolupodílel. Pro přilákání potencionálních investorů je spalovnu třeba prezentovat jako ekonomicky zajímavý projekt, který svým fungováním je schopný docílit požadované návratnosti investic.

Hlavní úkolem této práce bylo sestavit jednoduchý technicko-ekonomický (T-E) model, který bude moci být použit při zlepšování funkčnosti komplexního, již fungujícího T-E modelu, který však obsahuje jistá zjednodušení, která mají vliv na přizpůsobivost tohoto modelu. Vypracovaný T-E model je schopen ve svých výpočtech zohlednit proměnlivé hodnoty ročního pracovního fondu a výhřevnosti odpadu v závislosti na požadavcích konkrétního bilancovaného zařízení EVO. Zároveň sestavený T-E model zahrnuje při výpočtu investičních nákladů možnost vícenásobného použití některého z provozních souborů. Sestavený model dokáže na základě výsledků z bilanční části a části odhadu investic provést T-E bilanci hodnoceného zařízení. Přesto by jeho hlavním úkolem mělo být zvýšení flexibility a možnosti použití již existujícího komplexního modelu.

Velmi důležitou částí vypracovaného T-E modelu je model odhadu investičních nákladů, který byl vypracován samostatně. Model odhadu investičních nákladů má, jak již napovídá jeho název, odhadnout výšku investičních nákladů v závislosti na konfiguraci technologie spalovny. Získané odhady jsou následně porovnávány s funkcemi pro odhad investičních nákladů udávanými v různých literárních pramenech. Snahou v tomto porovnání také bylo najít komplexní funkci na vyjádření investičních nákladů, nezávislých na volbě počtu zpracovatelských linek. Jako optimální řešení tohoto problému se ukázala funkce

$$I_2 = I_1 * \left( \frac{Cap_2}{Cap_1} \right)^{0,75}$$
, která svým průběhem dostatečně přesně kopíruje růst investičních nákladů v závislosti na zpracovatelské kapacitě a zvolené konfiguraci zařízení EVO [39].

Další částí ekonomického modelu byla diskuze o vhodnosti použití vícelinkových technologií v zařízeních EVO. Účelem této části práce bylo dokázat, zda z ekonomického hlediska bude výhodnější budovat zařízení EVO v jednolinkových, nebo vícelinkových konfiguracích. Závěry vzniklé z tohoto porovnání ukazují, že použití vícelinkové technologie se především u zařízení s vysokou zpracovatelskou kapacitou jeví z ekonomického hlediska jako reálná, nikoliv však výrazně výhodnější možnost. Došlo však k zahrnutí některých zjednodušujících předpokladů (nulový úrok, konstantní náklady na provoz při různých prac. fondech, aj.). Za předpokladu zahrnutí těchto předpokladů by z ekonomického vyhodnocení

jednolinková technologie vycházela ještě lépe. Na druhou stranu z praktického hlediska bude vícelinková technologie plynuleji zvládat neočekávatelné potíže při výrobě, pod kterými rozumíme především náhlé odstávky z důvodu nečekané poruchy a s ní spojené ekonomické výdaje. Tyto výdaje prakticky nelze nijak exaktně vyjádřit, ale i přesto na jejich výši bude ve velkém množství případů volba konfigurace zařízení EVO záviset.

## Seznam použité literatury

- [1] PAVLAS, M.; MAREŠ, M.; UCEKAJ, V.; ORAL, J.; STEHLÍK, P. Optimální nastavení výše podpory výroby elektřiny z odpadu ve vztahu k ceně elektřiny pro spotřebitele. Brno, srpen 2011, 145 s.
- [2] Směrnice Rady 1999/31/ES ze dne 26. dubna 1999 o skládkách odpadů. In: 1999. Dostupné z: [http://europa.eu/legislation\\_summaries/environment/waste\\_management/121208\\_cs.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/environment/waste_management/121208_cs.htm)
- [3] Česká republika. Č. 185/2001: Zákon o odpadech. In: Sb. 2001. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/8FC3E5C15334AB9DC125727B00339581/\\$file/185-01%20-%20odpady.pdf](http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/8FC3E5C15334AB9DC125727B00339581/$file/185-01%20-%20odpady.pdf)
- [4] Směrnice Evropského parlamentu a rady 2006/12: o odpadech. In: ES. 2006. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:114:0009:0021:cs:PDF>
- [5] ARNIKA [online]. [cit. 2012-02-08]. Dostupné z: <http://arnika.org/odpad-je-surovina>
- [6] Česká republika. Vyhláška č. 381/2001 Sb., Vyhláška Ministerstva životního prostředí, kterou se stanoví Katalog odpadů, Seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a postup při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů (Katalog odpadů). In: 2001.
- [7] HRABČÁK, M. Prekročímě odpadový Rubikon?: O determinizme v odpadovom hospodárstve, Kuznetsových krivkách, ekonomickom raste atď. ODPADOVÉ FÓRUM 2011, Kouty nad Desnou, duben 2011, 21 s.
- [8] BENEŠOVÁ L., KOTOULOVÁ Z., ČERNÍK Z.: Základní charakteristiky komunálních odpadů. Odpadové fórum, 2011, č. 4.
- [9] PAVLAS, M.; MARTINEC, J.; DVOŘÁK, R.; BÉBAR, L.; STEHLÍK, P. Potenciál výroby energie v moderních provozech EVO: Výzkumná zpráva NPV2-V005-10-02 pro řešení Národního programu výzkumu II – 2B08048 – Odpady jako surovina a zdroje energie. Brno, prosinec 2010, 76 s.
- [10] Eurostat Data Explorer. Eurostat Home [online]. 2012, 2012-03-14 [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: [http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env\\_wasmun&lang=en](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_wasmun&lang=en)
- [11] BLUMENTHAL, K. Generation and treatment of municipal waste: Municipal waste generation in Europe has slowed down and stabilised at about 520 kg per capita since 2002. In: [online]. s. 12 [cit. 2012-05-07]. ISSN 1977-0316. Dostupné z: [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_OFFPUB/KS-SF-11-031/EN/KS-SF-11-031-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-SF-11-031/EN/KS-SF-11-031-EN.PDF)
- [12] Environment: What can Canada learn from other countries to improve its Environment report card?. The Conference Board of Canada [online]. červenec 2011 [cit. 2012-02-13]. Dostupné z: <http://www.conferenceboard.ca/hcp/hot-topics/environment.aspx>
- [13] Waste-to-energy in Denmark. Ramboll [online]. 2006 [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: [http://www.ramboll.com/services/energy%20and%20climate/~/\\_media/Files/RGR/Documents/waste%20to%20energy/RenosamhvidbogGB.ashx](http://www.ramboll.com/services/energy%20and%20climate/~/_media/Files/RGR/Documents/waste%20to%20energy/RenosamhvidbogGB.ashx)
- [14] Waste-to-energy plants. Keppel Seghers [online]. 2011 [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: <http://www.keppelseghers.com/en/content.aspx?sid=3028>
- [15] Spittelau 2.0. Wien Energie [online]. 2012 [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: <http://www.wienenergie.at/eportal/ep/channelView.do/pageTypeId/11894/channelId/-32306>



- [16] SAKO BRNO, a.s. Spalovna [online]. 2012 [cit. 2012-04-02]. Dostupné z: <http://www.sako.cz/informace/>
- [17] ZEVO Malešice. Pražské služby [online]. [cit. 2012-04-02]. Dostupné z: <http://www.psas.cz/index.cfm/sluzby-firmam/zarizeni-pro-energeticke-vyuzivani-odpadu/energeticke-vyuzivani-odpadc5af/>
- [18] TERMIZO. Spalovna Liberec [online]. 2010 [cit. 2012-04-02]. Dostupné z: <http://www.termizo.mvv.cz/php/index.php?p=10&ln=cz>
- [19] Česká republika. Č. 354/2002: kterým se stanoví emisní limity a další podmínky pro spalování odpadu. In: Sb. 2002. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/03AB474C8C5B7594C12572DB00465B86/\\$file/354-02.pdf](http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/03AB474C8C5B7594C12572DB00465B86/$file/354-02.pdf)
- [20] 100 Years of Waste Incineration in Denmark. In: Ramboll [online]. [cit. 2012-05-03]. Dostupné z: [http://www.ramboll.com/services/energy%20and%20climate/~/\\_media/Files/RGR/Documents/waste%20to%20energy/100YearsLowRes.ashx](http://www.ramboll.com/services/energy%20and%20climate/~/_media/Files/RGR/Documents/waste%20to%20energy/100YearsLowRes.ashx)
- [21] Podklady k provádění Protokolu o PRTR. *Integrovaný registr znečišťování* [online]. [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: [http://www.irz.cz/dokumenty/irz/metody\\_mereni/puda/PCDD\\_PCDF.pdf](http://www.irz.cz/dokumenty/irz/metody_mereni/puda/PCDD_PCDF.pdf)
- [22] Odpady 2011: Zkušenosti s provozem, ZEVO - Spalovna Malešice. In: [online]. Brno, květen 2011 [cit. 2012-04-02]. Dostupné z: [www.odpadjeenergie.cz/getFile.aspx?itemID=411252](http://www.odpadjeenergie.cz/getFile.aspx?itemID=411252)
- [23] KIC. Krajské integrované centrum nakládání s odpady [online]. 2009 [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: <http://www.kic-odpady.cz/>
- [24] ZEVO. Spalovna Chotíkov [online]. 2011 [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: <http://www.spalovnachotikov.info/index.html>
- [25] EVO. Energetické využívání odpadů [online]. 2010 [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: <http://www.evokomorany.cz/>
- [26] Bude v Jihlavě stát spalovna odpadů pro Vysočinu za tři miliardy?. Vysočina-news [online]. 2012 [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: <http://www.vysocina-news.cz/clanek/bude-v-jihlave-stat-spalovna-odpadu-pro-vysocinu-za-tri-miliardy/>
- [27] Spalovna: Přerov je ve hře, ale není sám. Deník [online]. 2012-02-07 [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: <http://www.denik.cz/ekonomika/spalovna-prerov-je-ve-hre-ale-neni-sam20120207.html>
- [28] ČTK: Spalovna v Opatovicích nebude, Pardubický kraj hledá náhradní lokalitu. STUZ: Společnost pro trvale udržitelný život [online]. 2007-03-15 [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: [http://www.stuz.cz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=455:ctk-spalovna-v-opatovicich-nebude-pardubicky-kraj-hleda-nahradni-lokalitu&catid=18:informace&Itemid=75](http://www.stuz.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=455:ctk-spalovna-v-opatovicich-nebude-pardubicky-kraj-hleda-nahradni-lokalitu&catid=18:informace&Itemid=75)
- [29] SKÁLOVÁ, L.: Spalovna komunálních odpadů jako energeticky účinný a environmentálně šetrný zdroj energie. *Energetika*, 2009, roč. 59, č. 6, s. 221- 229. ISSN 0375-884
- [30] BLÁHA, A.: Waste-to-Energy Plant ZEVO Malešice/Prague, in: sborník konference Spalovny (komunálních) odpadů 2011, Praha

- [31] PAZDERA, L.: Odpadové hospodářství Brno, Realizace projektu rekonstrukce a modernizace spalovny SAKO, in: sborník konference Spalovny (komunálních) odpadů 2010, Praha
- [32] SILLA, H.: *Chemical process engeneering: Design and economics*. New York: Marcel Dekker, 2003.
- [33] BIO-energy for achieving MDGs in Asia. Wide University [online]. 2007 [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: <http://www.soi.wide.ad.jp/class/20070041/slides/08/18.html>
- [34] ČECH, M. Modely a přístupy v oblasti počítačové simulace procesů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 71 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Michal Touš
- [35] GOMÉZ, A.;ZUBIZARRETA, J.;RODRÍGUEZ, M.;DOPADO, C.;FUEYO, N: Potential and cost of electricity generation from human and animal waste in Spain. *Renewable energy* 35 (2010) 498-505
- [36] ZABANIOTOU, A.;GIANNOULIDIS, N.:Incineration of Municipal Solid Waste with Electricity Production and Environmental Safety: The Case of a Small Capacity Unit in Greece. *Energy Source*, 24:116-126,2002
- [37] CA Clarity Technologies: Finanční metriky pro plánování. [online]. [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: [https://supportcontent.ca.com/cadocs/0/CA%20Clarity%20PPM%2013%200%2000-CSY/Bookshelf\\_Files/HTML/finmgt/index.htm?toc.htm?1004305.html](https://supportcontent.ca.com/cadocs/0/CA%20Clarity%20PPM%2013%200%2000-CSY/Bookshelf_Files/HTML/finmgt/index.htm?toc.htm?1004305.html)
- [38] BERAN, P.:Provozní zkušenosti s novou kogenerační jednotkou ZEVO Malešice. In: *Seminář Odpady 2011, Brno*. s. 72.
- [39] CONSONNI, S.;GIUGLIANO, M.; GROSSO, M. Alternative strategies for energy recovery from municipal solid waste Part B: Emission and cost estimates. In: *Waste Management* 25 (2005) 137–148.
- [40] Ucekaj, V. *Analýza možností nakládání s komunálními odpady v rámci mikroregionu*. Brno, 2010. 153 s. Disertační práce na Vysokém učení technickém v Brně na Fakultě strojního inženýrství na Ústavu procesního a ekologického inženýrství. Vedoucí disertační práce doc. Ing. Ladislav Bébar, CSc
- [41] References. Hitachi Zosen Inova AG [online]. [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <http://www.hz-inova.com/cms/en/references>

## Seznam příloh

- Příloha 1      Zdrojový kód bilančního výpočtu v programu VBA
- Příloha 2      Seznam zařízení EVO zahrnutých do porovnání závislosti počtu linek na  
zpracovatelské kapacitě
- Příloha 3      CD-Rom obsahující:
- a) Diplomovou práci včetně příloh  
2012\_DP\_Cech\_Martin\_107124\_T\_E\_modely\_spaloven\_komunálního\_odpad  
u\_s\_vyuzitím\_energie.pdf

## **Příloha 1 – Zdrojový kód bilančního výpočtu v programu VBA**

```
Worksheets("Main").Range("Input").Cells(1, 4) = ""
```

```
P_boiler = BoilerPower(LHV, Cap)
```

```
p_bfw = 50 'tlak bfw v bar
```

```
t_bfw = 110 'teplota bfw v C
```

```
h_bfw = h_pT(p_bfw, t_bfw)
```

```
p_steam_boiler_out = 40 'tlak pary v bar
```

```
t_steam_boiler_out = 420 'teplota pary v C
```

```
h_steam_boiler_out = h_pT(p_steam_boiler_out, t_steam_boiler_out)
```

```
m_steam_boiler_out = SteamQuantity(P_boiler, h_bfw, h_steam_boiler_out) 'mnozství pary z kotle
```

```
Q = VlastniSpotrebaPary(Cap, m_steam_boiler_out, t_bfw) 'vlastni spotreba tepla
```

```
p_kond = 40
```

```
h_kond = h_pT(p_kond, t_bfw) 'kondenzat bude mít stejnou teplotu jako napajecí voda
```

```
m_steam_vlastni = (Q / (h_steam_boiler_out - h_kond)) / 3600 'vlastni spotreba pary
```

```
m_steam_turbine1_in = m_steam_boiler_out - m_steam_vlastni 'mnozství pary jdoucí na turbínu
```

```
s_steam_boiler_out = s_pT(p_steam_boiler_out, t_steam_boiler_out) 'entropie pary na výstupu z kotle
```

```
p_steam_turbine1_out = 3.6 'tlak pary z 1. stupně
```

```
h_isoentropic_exp_1 = h_ps(p_steam_turbine1_out, s_steam_boiler_out) 'isoentropická expanze
```

```
Eta_turbine = 0.72 'účinnost turbíny
```

```
P_turbine1 = Turbine1Power(h_isoentropic_exp_1, h_steam_boiler_out, Eta_turbine, m_steam_turbine1_in) 'mechanický výkon 1. st
```

```
h_steam_turbine1_out = h_steam_boiler_out - (Eta_turbine * (h_steam_boiler_out - h_isoentropic_exp_1)) 'Entalpie pary na výstupu z prvního stupně
```

```
s_steam_turbine1_out = s_ph(p_steam_turbine1_out, h_steam_turbine1_out) 'Entropie pary na výstupu z 1. stupně
```

```
p_steam_turbine2_out = 0.12 'tlak kondenzátu
```

```
h_isoentropic_exp_2 = h_ps(p_steam_turbine2_out, s_steam_turbine1_out) 'isoentropická expanze
```

```
P_celk = 0
```

$$P_{\text{turbine2\_total}} = 0$$

For i = 1 To 12	'cyklus pro ruzne odbery pary behem roku
-----------------	--

```
Worksheets("Main").Range("Input").Cells(4, i).Interior.Color = RGB(255, 255, 255)
```

Worksheets("Main").Range("Input").Cells(5, i).Interior.Color = RGB(255, 255, 255)

```
Worksheets("Main").Range("Input").Cells(6, i).Interior.Color = RGB(255, 255, 255)
```

```
m_steam_input = Worksheets("Main").Range("Input").Cells(5, i)
```

'nasleduje prevod z GJ/mesic na kg/s

$$m_{\text{steam\_CZT}} = m_{\text{steam\_input}} / h_{\text{isoentropic\_exp\_2}} * 1000000 / (8000 / 12) / 3600 \quad \text{'v kg/s}$$
Worksheets("Main").Range("Input").Cells(6, i) = m\_steam\_CZT / 1000 \* 3600  
'kontrolni vypis v t/h

If  $m\_steam\_turbine1\_in \geq m\_steam\_CZT$  Then

```
m_steam_turbine2_in = m_steam_turbine1_in - m_steam_CZT
```

```
P_turbine2 = Turbine2Power(h_isoentropic_exp_2, h_steam_turbine1_out, Eta_turbine,
m_steam_turbine2_in) 'mechanicky vykon 2. stupne
```

Else

```
Worksheets("Main").Range("Input").Cells(4, i).Interior.Color = RGB(255, 0, 0) 'error hlaska
```

```
Worksheets("Main").Range("Input").Cells(5, i).Interior.Color = RGB(255, 0, 0)
```

```
Worksheets("Main").Range("Input").Cells(6, i).Interior.Color = RGB(255, 0, 0)
```

MsgBox "Požadavek na odběr páry do CZT ve vyznačeném měsíci je vyšší než množství páry, snižte množství požadovane páry", vbExclamation, "Chyba"

End If

$$P_{\text{turbine2\_total}} = P_{\text{turbine2\_total}} + P_{\text{turbine2}}$$

Next i

P\_turbine2\_avg = P\_turbine2\_total / 12

'vyjadreni prumerneho vykonu 2.st turbiny

$$P_{\text{celk}} = P_{\text{turbine1}} + P_{\text{turbine2\_avg}} \quad \text{'celkový výkon}$$

**Příloha 2** – Seznam zařízení EVO zahrnutých do porovnání závislosti počtu linek na zpracovatelské kapacitě

Spalovna (stát)	Zprac. kapacita jedné linky [t/h]	Počet linek
Alkmaar (Nizozemsko)	18,7	4
Banberg (Německo)	18	3
Bergen (Norsko)	15,4	1
Breisgau (Německo)	20	1
Cleveland (Velká Británie)	17,9	1
Emmenspitz (Švýcarsko)	10	4
Erfurt (Německo)	9,75	1
Hamburg (Německo)	6,2	2
Paris (Francie)	30,5	2
Liberec (Česká republika)	12	1
Ludwigslust (Německo)	6	1
Mallorca (Španělsko)	25	4
Moerdijk (Nizozemsko)	25	3
Nürberg (Německo)	8,5	3
Riverside (Velká Británie)	31,8	3
Roosendaal (Nizozemsko)	19	2
Stassfurt (Německo)	20	2
Thun (Švýcarsko)	13	1
Lausanne (Švýcarsko)	10	2
Umea (Švédsko)	20	1
Velsen (Nizozemsko)	30	1
Zistersdorf (Rakousko)	17	1
Zorbau (Německo)	20	2
Barcelona (Španělsko)	15	3
Newhaven (Velká Británie)	14,5	2
Olmsted County (USA)	8	1
Oslo (Norsko)	20	1
Vaasa (Finsko)	20	1